
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
Stefan Dorfer

**Probleme und Anwendungs-
möglichkeiten einer
Investitionsrechnung,
am Beispiel einer
Neuerrichtung
einer
Zementförderanlage**

Mittweida, 2015

DIPLOMARBEIT

Probleme und Anwendungsmöglichkeiten einer Investitionsrechnung, am Beispiel einer Neuerrichtung einer Zementförderanlage

Autor:
Herr Ing.

Stefan Dorfer

Studiengang:
WISBG11

Seminargruppe:
KW09w2SA

Erstprüfer:
Prof. Dr. Andreas Hollidt

Zweitprüfer:
Prof. Dr. rer. oec. Johannes Stelling

Einreichung:
Mittweida, 29.05.2015

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2015

Danksagung:

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meinen Eltern bedanken, die mir durch ihre jahrelange Unterstützung, die Ausbildung an der Hochschule Mittweida ermöglicht haben.

Für die Begutachtung der Diplomarbeit und Unterstützung möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Andreas Hollidt.

Einen Dank für die Betreuung beim Erstellen dieser Arbeit möchte ich Herrn Dipl. Ing. (FH) Christian Wörgötter aussprechen.

Ebenso möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit bei den Mitarbeitern der Firma Zementwerk Leube GmbH bedanken.

Bibliografische Beschreibung:

Stefan, Dorfer:

Probleme und Anwendungsmöglichkeiten einer Investitionsrechnung, am Beispiel einer Neuerrichtung einer Zementförderanlage. - 2015. - VII, 81, 0.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2015

Referat:

Im Rahmen einer Kostenoptimierung in der Firma Zementwerk Leube GmbH, sollen bestehende Zementförderanlagen gegen neue pneumatische Fördersysteme getauscht werden. Das Ziel ist, die Neuauslegung der Anlagen und die Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand von Investitionsrechnungen mit Hilfe des statischen Verfahrens. Mit dieser Diplomarbeit wurde versucht, anhand bestehender Daten die Förderanlagen neu zu dimensionieren. Eine weitere Aufgabe bestand darin, Probleme und Anwendungsmethoden von Investitionsentscheidungsrechnungen am Beispiel einer Zementförderanlage aufzuzeigen.

Abstract:

The company Zementwerk Leube GmbH would like to change some of their existing cement conveying systems, as part of a cost optimization. Therefore new pneumatic conveyors are planned. The goal of this thesis is to redesign the system on the base of existing data, and a cost effectiveness calculation using the static method for investment decision calculation. Another task was to show the possibilities and problems for investment decision calculations using the example of a cement supply system.

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis.....	V
----------------------------	---

Tabellenverzeichnis	VII
---------------------------	-----

Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
----------------------------	------

0 Übersicht	9
--------------------------	----------

0.1 Motivation	9
----------------------	---

0.2 Zielsetzung.....	9
----------------------	---

0.3 Kapitelübersicht	10
----------------------------	----

1 Einleitung.....	11
--------------------------	-----------

1.1 Grundlagen	11
----------------------	----

1.1.1.1 Rohmaterialgewinnung	12
------------------------------------	----

1.1.1.2 Rohmaterialaufbereitung.....	12
--------------------------------------	----

1.1.1.3 Brennvorgang	12
----------------------------	----

1.1.1.4 Ersatz und alternative Brennstoffe.....	13
---	----

1.1.1.5 Mahlung	13
-----------------------	----

1.1.1.6 Qualitätskontrolle	13
----------------------------------	----

1.1.1.7 Lagerung.....	13
-----------------------	----

1.1.1.8 Verpackung.....	13
-------------------------	----

1.2 Aufbau Zementförderanlage	14
-------------------------------------	----

1.2.1 Förderanlage ZM 4	14
-------------------------------	----

1.2.2 Zusammenfassung ZM4	16
---------------------------------	----

1.2.3 Förderanlage ZM5	18
------------------------------	----

1.2.3.1 Zusammenfassung ZM 5	21
------------------------------------	----

2 Pneumatische Förderung.....	24
--------------------------------------	-----------

2.1 Grundlagen der Fördertechnik	24
--	----

2.1.1 Pneumatische und dynamische Stetigförderer	25
--	----

2.2 Grundlagen pneumatischer Förderanlagen	26
--	----

2.2.1 Grundlagen der Strömungslehre.....	26
--	----

2.3 Dynamischer Druck.....	26
----------------------------	----

2.3.1 Druckverlust bei reiner Luftströmung	26
--	----

2.4	<i>Zustandsdiagramm der pneumatischen Förderung</i>	27
2.4.1	Grenzkurven	28
2.4.2	Flugförderung	29
2.4.3	Strähnenförderung	29
2.4.4	Pfropfenförderung	30
2.4.5	Instabiler Bereich	31
2.4.6	Fließförderung	32
2.5	<i>Fördergüter in der Förderanlage</i>	33
2.5.1	Gutbeschleunigung	33
2.5.2	Gutbeschleunigung bei Flugförderung	34
2.5.3	Gutbeschleunigung bei Pfropfenförderung	35
2.5.4	Beharrungszustand	35
2.5.5	Beharrungszustand in der waagrechten Rohrleitung	36
2.5.6	Beharrungszustand bei lotrechter Rohrleitung	37
2.5.7	Gutumlenkung im Rohrkrümmer	37
2.5.8	Krümmerströmung	37
2.5.9	Verschleiß im Krümmer	37
2.5.10	Geometrie des Krümmers	38
2.5.11	Druckverlust im Krümmer	38
2.5.12	Druckverlauf einer Förderleitung	39
2.5.13	Saug- und Druckanlagen	39
2.5.14	Betriebspunkt einer Förderanlage	39
2.5.15	Betriebspunkt einer Flugförderung	39
2.5.16	Betriebspunkt bei Pfropfenförderung	40
3	Berechnung pneumatischer Förderanlagen	41
3.1	<i>Allgemein</i>	41
3.1.1	Ziele Der Berechnung	41
3.1.2	Andere Berechnungsverfahren	42
3.2	<i>Grundlagen der Berechnung von pneumatischen Förderanlagen</i>	43
3.2.1	Druckverlust bei Gutförderung	43
3.2.2	Grundgleichung zum Zustand in der Förderleitung	44
3.3	<i>Berechnung einer pneumatischen Förderanlage ohne Berücksichtigung der Kompressibilität</i>	44
3.3.1	Luftgeschwindigkeit	44
3.3.2	Druckverlust	45
3.3.3	Luftreibungsverlust	45
3.3.4	Luft Einzelwiderstände	45
3.3.5	Gutreibungsverlust	46
3.3.6	Hubverlust	46
3.3.7	Beschleunigungsverlust	47
3.3.8	Krümmerverlust	47

3.3.9	Gesamtdruckverlust	47
3.3.10	Auslegung einer pneumatischen Förderanlage bei Vernachlässigung der Kompressibilität der Luft.....	48
3.3.11	Rohrdurchmesser	48
3.3.12	Luftvolumenstrom	48
3.3.13	Leistungsbedarf	48
4	Berechnung pneumatischer Förderanlagen	49
4.1	<i>Berechnung pneumatische Förderanlage ZM 4.....</i>	49
4.2	<i>Berechnung pneumatische Förderanlage ZM 5.....</i>	51
5	Investitions- und Entscheidungsmethoden	54
5.1	<i>Grundlagen Investitionsrechnung</i>	54
5.1.1	Begriff Investition	54
5.1.2	Betriebswirtschaftlicher Zweck.....	54
5.1.3	Investitionsarten.....	55
5.2	<i>Beurteilung von Sachinvestitionen.....</i>	56
5.2.1	Investitionsrechnung und das statische Verfahren	57
5.2.2	Kostenvergleichsrechnung.....	57
5.2.2.1	Kostenkomponenten und Kostenermittlung	57
	5.2.2.1.1 Kalkulatorische Abschreibung	58
	5.2.2.1.2 Kalkulatorische Zinsen	58
	5.2.2.1.3 Periodenkosten	60
5.2.2.2	Auswahl von Investitionsprojekten.....	61
5.2.2.3	Ersatz von Investitionsobjekten	61
5.2.2.4	Beurteilung Kostenvergleichsrechnung	62
5.2.3	Gewinnvergleichsrechnung.....	62
5.2.3.1	Beurteilung der Gewinnvergleichsrechnung	63
5.2.4	Rentabilitätsvergleichsrechnung	64
	5.2.4.1.1 Kapitaleinsatz und Rentabilität.....	65
	5.2.4.1.2 Kritik an der Rentabilitätsrechnung	65
5.2.5	Amortisationsrechnung	66
	5.2.5.1.1 Durchschnittsrechnung.....	66
	5.2.5.1.2 Totalrechnung	67
	5.2.5.1.3 Vor- und Nachteil dieser Anwendung	68
5.2.6	Resümee des statischen Verfahrens	69
6	Investitionsrechnung anhand einer Zementförderanlage.....	70
6.1	<i>Allgemeines</i>	70
6.2	<i>Investitionsrechnung Zementmühle 4.....</i>	70
6.2.1	Kostenaufstellung	70

6.3	<i>Investitionsrechnung für ZM4</i>	72
6.3.1	Kalkulatorische Abschreibung	72
6.3.2	Kalkulatorische Zinsen.....	72
6.3.3	Perioden und Gutkosten (Zement in €/to).....	73
6.3.4	Auswahl von Investitionen anhand der Energiekosten der ZM4.....	76
6.3.5	Amortisationsrechnung ZM4	77
6.4	<i>Investitionsrechnung für ZM5</i>	78
6.4.1	Kostenaufstellung ZM5	78
6.4.2	Kalkulatorische Abschreibung	80
6.4.3	Kalkulatorische Zinsen.....	80
6.4.4	Perioden und Gutkosten	81
6.4.5	Auswahl von Investitionen anhand der Energiekosten der ZM5.....	84
6.4.6	Amortisationsrechnung ZM5.....	85
7	Ergebnisse und Zusammenfassung	87
7.1	<i>Ergebnisse</i>	87

7.2.2

Literatur 91

Selbstständigkeitserklärung..... 93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema Brennvorgang von Rohmehl	12
Abbildung 2: ZM 4; Bestand pneumatische Schneckenpumpe im Werk der Firma Zementwerk Leube GmbH	14
Abbildung 3: Fließschema ZM 4	16
Abbildung 4: Fließschema Eintrag Zellenradschleuse ZM4	17
Abbildung 5: ZM5: Pneumex Förderbehälter und Fördergefäß	19
Abbildung 6: : Fließschema ZM 5	20
Abbildung 7: Anlagenplan ZM5 und Pneumex	20
Abbildung 8: Fließschema Eintrag Zellenradschleuse ZM5	21
Abbildung 9: Aufbau und Schnitt einer Zellenradschleuse	22
Abbildung 10: Anlagenplan ZM5 und Pneumex	23
Abbildung 11: Entscheidungskriterien pneumatische und mechanische Förderung	25
Abbildung 12: Prandtl- Rohr, zur Messung des dynamischen Drucks	27
Abbildung 13: Zustandsdiagramm einer pneumatischen Förderanlage	28
Abbildung 14: Entstehung eines Schüttgutpfropfens	31
Abbildung 15: Zustandsdiagramm bei Fließförderung	32
Abbildung 16: Schema einer pneumatischen Förderanlage	33
Abbildung 17: Verlauf der Gutgeschwindigkeit nach Einschleusung ohne Gutreibung ..	35
Abbildung 18: Druckverlauf über die Rohrlänge	36
Abbildung 19: Verschleiß am Rohrkrümmer	38

Abbildung 20: Kosten einer Förderanlage, in Abhängigkeit des Rohr- durchmessers....	42
Abbildung 21: : Flow Sheet ZM5.....	53
Abbildung 22: Bsp: Ermittlung durchschnittlicher Periodengewinn	63
Abbildung 23: Bsp: Ermittlung Amortisationsdauer.....	67
Abbildung 24: Bsp: Ermittlung Amortisationsdauer kumulativ.....	68
Abbildung 25: Strommesung der Firma Allplan im Zementwerk Leube	74
Abbildung 26: Strommemssung der Fa. Allplan ZM5	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten.....	77
Tabelle 7-2: Kumulative Abschreibung der Zementförderanlage ZM4.....	78
Tabelle 7-3: Laufverhalten und Energiekosten	82
Tabelle 7-4: Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten.....	84
Tabelle 7-5: Kumulative Abschreibung der Zementförderung ZM5	86

Abkürzungsverzeichnis

GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
TKRT	Thyssen Krupp Resource Technologies
ZM4	Zementmühle 4
ZM5	Zementmühle 5
ZMS9	Zementsilo 9
ZMS	Zementsilo
to	Tonne
kg	Kilogramm
1/min	Umdrehungen pro Minute
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt Stunde
bzw.	Beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel

0 Übersicht

Im einleitenden Kapitel werden die Motivation und die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besprochen. Gleichzeitig erfolgt ein kurzer Überblick zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit.

0.1 Motivation

Die Firma Zementwerk Leube GmbH ist ein Zementhersteller, mit Sitz in St. Leonhard bei Grödig. In den vielen Stufen der Zementproduktion wird bei dieser Diplomarbeit das Hauptaugenmerk auf den Transport des fertigen Zements von den Zementmühlen zu den Zementsilos gelegt. In den bestehenden drei Zementmühlen wird der gebrannte Klinker mit Gips und weiteren Zusatzstoffen vermischt und gemahlen. Das fertige Zementpulver wird nach diesem Vorgang über pneumatischem Wege zu den einzelnen Silos weiterbefördert. Diese dienen zur Lagerung des Zements und haben eine Speicherkapazität von bis zu 20.000t. Von hier aus wird der Baustoff per Silo- LKW, oder verpackt, zu den jeweiligen Baustellen, oder Händlern, abtransportiert¹.

Der Förderguttransport des gemahlenen Pulvers von den Mühlen zum Lager wird derzeit per Lufteinschleusung mit hohem Druck in die Pneumatikleitung, mit Hilfe großer Kompressoren, realisiert. Da die Kompressoren zur Erzeugung des notwendigen Druckes große Antriebsleistungen mit sich führen, wird eine wirtschaftliche Lösung angestrebt. Eine Alternative stellt hierbei eine niedrige Druckluftförderung des Schüttgutes mit Hilfe eines Gebläses dar, wobei der Zement kontinuierlich über eine Zellenradschleuse dazu dosiert wird.

0.2 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, anhand der bestehenden Förderanlage und deren aufliegenden Daten, eine Neuanschaffung mit Hilfe von Investitionsrechnungen zu kalkulieren und zu vergleichen. Dabei wird die statische Investitionsrechnung ihre Anwendung finden.

Vergleiche und Auswertungen für die Weiterverwendung oben beschriebener Rechenmethoden stammen aus Messungen vor Ort, oder beziehen sich aus einem rechnerischen Nachweis.

Notwendige Daten für die Kalkulation mit der Bestandsanlage wurden von der Firma Zementwerk Leube GmbH zur Verfügung gestellt.

¹ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/>; 20.05.2015

Ebenfalls soll eine neue Förderanlage ausgelegt werden und anhand des Ergebnisses eine Investitionsentscheidung getroffen werden. Diese Auslegung kann jedoch von der Praxis abweichen. Grund hierfür ist, die unterschiedlichen Qualität des Zementes. Je nach Bedarf des Kunden bzw. des Baustoffhandels ist diese unterschiedlich. Jedoch fließt in den rechnerischen Nachweis für die Neugestaltung des Projektes, die Dichte, Korngröße Schüttwinkel und Guttemperatur des Zementpulvers ein. Daher kann nur mit einem Mittelwert des Fördergutes kalkuliert werden.

0.3 Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit besteht aus sieben Kapiteln.

In **Kapitel 1** folgt eine Einleitung in die Arbeit. Grundlagen, sowie allgemeine Themen über das Zementwerk werden beschrieben und es wird auch näher auf die Aufgabenstellung eingegangen.

Das **Kapitel 3** beschreibt den theoretischen Teil von pneumatischen Förderanlagen, deren Grundlagen und dient als Basis für die weitere Kalkulation.

Die Berechnung der vorher erwähnten Themen folgt in **Kapitel 4**. Eine Auslegung und Nachberechnung pneumatischer Förderanlagen werden gezeigt und beschrieben.

Im **5. Kapitel** folgt die Theorie zu Investitionsentscheidungsrechnungen. Die Arten der verschiedenen Methoden, so wie Anwendungsmöglichkeiten und Probleme werden erläutert.

Anschließend wird im **Kapitel 6** der kalkulatorische Nachweis erbracht und die erworbenen Ergebnisse ausgewertet.

Das **Kapitel 7** fasst noch einmal alles zusammen analysiert die Ergebnisse und ein Resümee über die Arbeit dient als Abschluss.

Neuerrichtung einer Zementförderanlage

1 Einleitung

Die Firma. Zementwerk Leube GmbH hat im Rahmen eines Wirtschaftlichkeits- und Energieeinsparungsprojektes, den Instandhalter Dipl. Ing. (FH) Christian Wörgötter, damit Beauftragt, die bestehenden Zementförderanlagen, auf ein neues und kostengünstiges System, umzubauen.

1.1 Grundlagen

Das Zementwerk, mit Standort in St. Leonhard bei Grödig, ist Hersteller von hochwertigen Baustoffen, welche Zemente, Sande und Kalke umfasst. Jährlich werden bis zu 500.000t Zement produziert.

Die Zementproduktion erfolgt in acht Schritten, welche vom Kalkabbau, über Rohmaterialaufbereitung bis hin zum Brennen des Klinkers und des Rohmaterials, zur Mahlung, Lagerung und Verpackung.

- Rohmaterialgewinnung
- Rohmaterialaufbereitung
- Brennvorgang
- Ersatzbrennstoffe
- Mahlung
- Qualitätskontrolle
- Lagerung
- Verpackung²

² <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/brennvorgang/> ; 20.05.2015

1.1.1.1 Rohmaterialgewinnung

Die Grundlage für die Zementherstellung, bildet Mergel und Kalkstein, welche im Tagebau, auf dem Guttrathberg, gewonnen werden. Jährlich werden 600.000t Gestein abgebaut. Von einem 120to Bagger wird das Gestein gelöst und mit großen Muldenkippern zu einem mobilen Brecher transportiert, der das Grobmaterial zerkleinert. Mit einem Förderband gelangt das Rohmaterial vom Berg zur Rohsteinhalle.³

1.1.1.2 Rohmaterialaufbereitung

Für den nachfolgenden Brennvorgang wird das abgebaute Material mit Korrekturstoffen angereichert und in Rohmehlmühlen weitergeleitet, in denen das Gestein gemahlen und getrocknet wird. Es entsteht Rohmehl- Klinker.⁴

1.1.1.3 Brennvorgang

Das Rohmehl wird über einen Zyklonwärmetauscher auf ca. 1.100°C erhitzt und in einen Rohrdrehofen weitertransportiert. Dort wird es bei einer Temperatur von 1.450°C zu Zementklinker gebrannt. Über den Klinkerkühler wird der Klinker abgekühlt und gelangt zu den Klinkersilos bzw. in die Klinkerhalle. Durch Verwendung fossiler Brennstoffe und Ersatzbrennstoffe können diese hohen Temperaturen erreicht werden.⁵

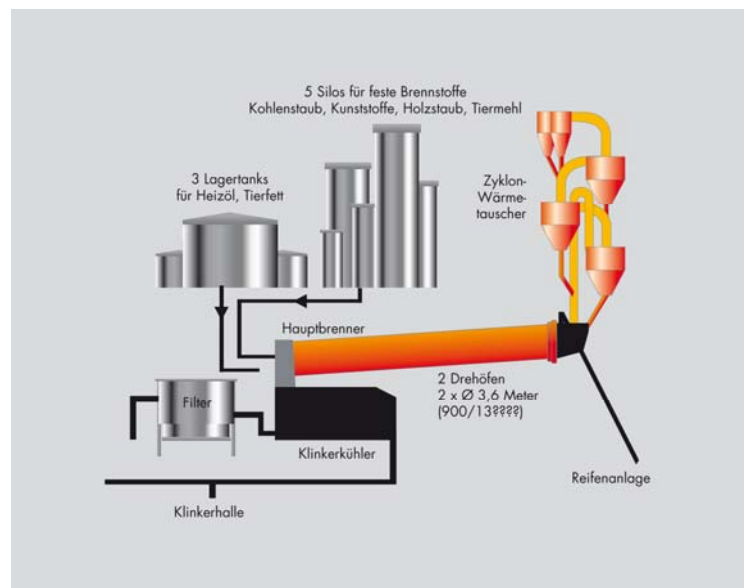


Abbildung 1: Schema Brennvorgang von Rohmehl⁶

³ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/rohmaterialgewinnung/> ; 20.05.2015

⁴ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/rohmaterialaufbereitung/> ; 20.05.2015

⁵ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/brennvorgang/> ; 20.05.2015

⁶ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/brennvorgang/> ; 20.05.2015

1.1.1.4 Ersatz und alternative Brennstoffe

Aufgrund steigender Ölpreise werden zusehends Alternativbrennstoffe verwendet, auch zur Schonung fossiler Ressourcen. Diese werden bei der Zementerzeugung auf ein Minimum reduziert.⁷

1.1.1.5 Mahlung

Der im Brennvorgang erzeugte Klinker wird in Zementmühlen, je nach Bedarf und Qualität, mit Gips 5%, 15% Hüttensand und 5% Steinmehl, vermischt und zu einem Zementmehl, in unterschiedlichen Feinheitsstufen, gemahlen. Je nach Zementsorte unterscheiden sich die Zugaben von den oben genannten Zutaten.

Nach diesem Bearbeitungsvorgang wird der Zement und die diversen Sorten in Zementsilos transportiert.⁸

1.1.1.6 Qualitätskontrolle

Um eine gute Qualität des Baustoffes zu gewährleisten werden alle 24 Stunden Proben genommen und im betriebseigenen Labor analysiert und ausgewertet.

Zement und Brennstoffproben werden entnommen, chemische und mineralogische Bestandteile bestimmt. In einem Labor werden ebenfalls die physikalischen Eigenschaften des Zements untersucht.⁹

1.1.1.7 Lagerung

Nach den beiden letzten oben beschriebenen Vorgängen wird der Baustoff über Hochdruckanlagen in bis zu neun Silos aufgeteilt, welche zusammen ein Fassungsvermögen von 20.000t bilden. Knapp 90% werden lose per Silo- Lkw's ausgeliefert.

Der restliche Anteil wird verpackt.¹⁰

1.1.1.8 Verpackung

In einer eigens errichteten Halle, die auch Packerei genannt wird, werden die Zementsorten in 25kg Säcke abgefüllt, auf Paletten gestapelt und für den Abtransport vorbereitet.¹¹

⁷ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/ersatzbrennstoffe/> ; 20.05.2015

⁸ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/mahlung/> ; 20.05.2015

⁹ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/qualitaetskontrolle/> ; 20.05.2015

¹⁰ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/lagerung/> ; 20.05.2015

¹¹ <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/verpackung/> ; 20.05.2015

1.2 Aufbau Zementförderanlage

Für dieses Projekt werden für die Berechnung und Neuauslegung, die Zementförderanlagen von der Zementmühle 4 (ZM4) und der Zementmühle 5 (ZM5) zu den Silos genauer betrachtet. Die Beschickung erfolgt über pneumatische Förderanlagen, welche durch Kolbenverdichter mit Druckluft versorgt werden. Durch die hohen Betriebs- und Wartungskosten will die Fa. Leube diese modernisieren. Das meiste Potential zur Einsparung liefert die Förderung von ZM 4, da der Transport über eine Schneckenpumpe erfolgt.

1.2.1 Förderanlage ZM 4

Der Zement wird über pneumatische Förderrinnen in den Aufgabeebehälter der Schneckenpumpe gefördert. Je nach produzierter Sorte ergibt sich ein maximaler Durchsatz von 60t/h. Von der Schneckenpumpe gelangt eine Rohrleitung DN150 zu den Speichern. Die weiteste Strecke führt zu ZM- Silo 9. Diese beträgt horizontal und vertikal gerechnet ca. 120m und ist für die Kalkulation ein erheblicher Faktor.



Abbildung 2: ZM 4; Bestand pneumatische Schneckenpumpe im Werk der Firma Zementwerk Leube GmbH¹²

¹² Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 9; 12.11.2013

Daten der vorhandenen Maschine:

Hersteller: Claudius Peter
Motor: 75kW/ 1000 1/min
Förderleitung: DN150
Baujahr: 1989

Daten des Verdichters:

Hersteller: Atlas Copco
Typ: ER6E
Bauart: Kolbenverdichter
Ansaugmenge: 30,8m³/min
max. Druck: 8,8bar abs.
Drehzahl: 500 1/min
Motor: 198kW
Baujahr: 1973

Eine pneumatische Klappe zwischen dem Einlauf der Schneckenpumpe und dem Vorlagebehälter, schützt die Rohrweichen bei der Umschaltung der einzelnen Silos. Die Absperrklappe ist zunächst geschlossen, der Vorbehälter wird befüllt und die Rohrleitung komplett leer geblasen. Die Rohrweiche für die Silobefüllung wird geöffnet, jedoch ohne Materialfluss. Dieser Vorgang sorgt dafür, dass keine Beschädigung, bei der Umschaltung, auf der Armatur eintritt. Das Absperrorgan vor der Schneckenpumpe wird geöffnet und Material wird gefördert. Messungen der Firma *ThyssenKrupp Resource Technologies (Fa. TKRT)*¹³, die mit diesem Projekt beauftragt wurde, haben einen maximalen Förderdruck von 1,55bar, vor dem Zementsilo 6 (ZM- Silo 6), bei der Weichenumstellung festgestellt.. Bei Normalbetrieb stellte sich ein Druck von 1,2bar ein.¹⁴

Der Förderdruck über die Längste Strecke (Beschickung ZM- Silo 9), wies einen Förderdruck bei Normalbetrieb von 0,95bar auf, und bei einer Weichenumstellung von 1,25bar.¹⁵ Die hohe Druckbeaufschlagung bei der Förderung zu ZM- Silo 6, begründet die Fa. TKRT dadurch, dass sich viele Weichen entlang der Rohrleitung befinden und somit Druckverluste verursachen.

Aufgrund der über die Betriebsdauer angebauten Silos, wird eine Lösung angestrebt die bestehenden Rohrleitungen beizubehalten, da ein Komplettumbau sich als sehr schwierig und teuer erweist. Derzeit betragen die jährlichen Wartungskosten der Schneckenpumpe

¹³ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 2; 12.11.2013

¹⁴ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 3; 12.11.2013

¹⁵ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 3; 12.11.2013

ca. €20.000.-. Dabei wird die Schnecke erneuert, dies zur Folge hat, dass der Antrieb und Schnecke ausgebaut werden müssen.

Befördert werden ein Rohmehlsilo und 10 Zementsilos.

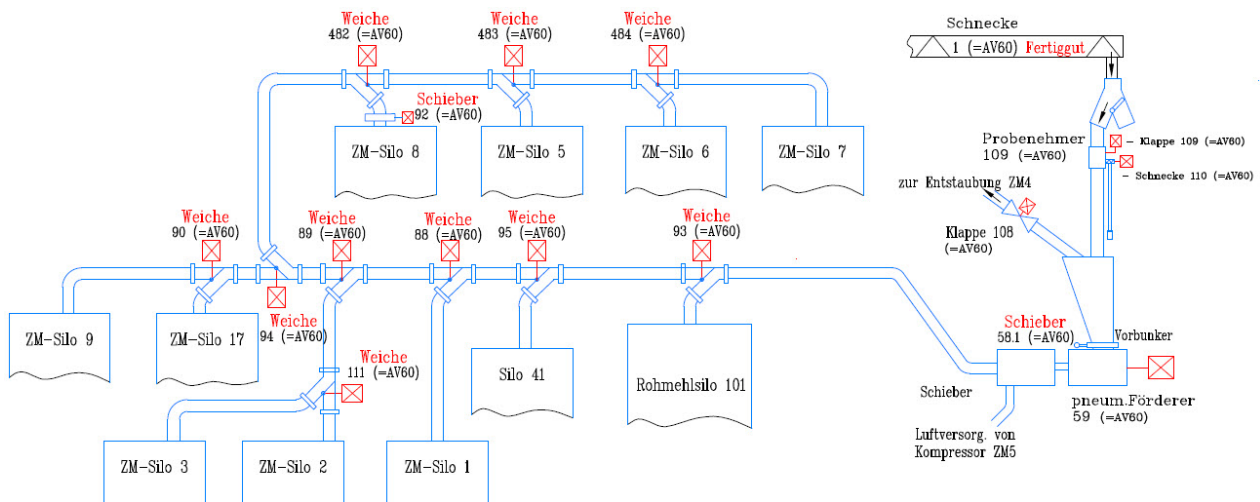


Abbildung 3: Fließschema ZM 4¹⁶

1.2.2 Zusammenfassung ZM4

Die Förderung aus ZM 4 erfolgt über eine pneumatische Schneckenpumpe und ist somit gut geeignet für den Austausch auf eine pneumatische Förderanlage. Der Antriebsmotor hat eine 75kW Wellenleistung, wobei im Normalbetrieb 50kW aufgenommen werden.

Im Laufe der Zeit haben sich neue Fördermittel am Markt etabliert. So können z.B. Zellenradschleusen mit einer Antriebsleistung von 3kW, die erforderliche Fördermenge bewältigen.

Über dem Einlauf des Vorbehälters der Schneckenpumpe ist eine Umstellklappe montiert. Diese besitzt zwei Ausläufe, wobei einer davon in den Vorbehälter führt, und die der andere mit einem Blindflansch versehen ist. Es wäre hier möglich parallel die Förderanlage mit der Zellenradschleuse zu versehen. Ausreichend Platz für Reparatur und Wartungsarbeiten ist vorhanden. Die Fa. TKRT empfiehlt einen Vorlagebehälter mit ca. 2m³ Inhalt und soll als Puffer und Entlüfter bei einer Weichenumschaltung dienen. Wie die Schneckenpumpe, kann auch die Zellenradschleuse an das bereits vorhandene vertikale Rohr angeschlossen werden.¹⁷

¹⁶ Ausschnitt aus Fließschema der Fa. Leube Zementwerk G.m.b.H; Zeichnungsnr.: 25254; Titel der Zeichnung: 144.4_Zementförderung_ZM4 Airlift: ergänzt am, 06.05.2009

¹⁷ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

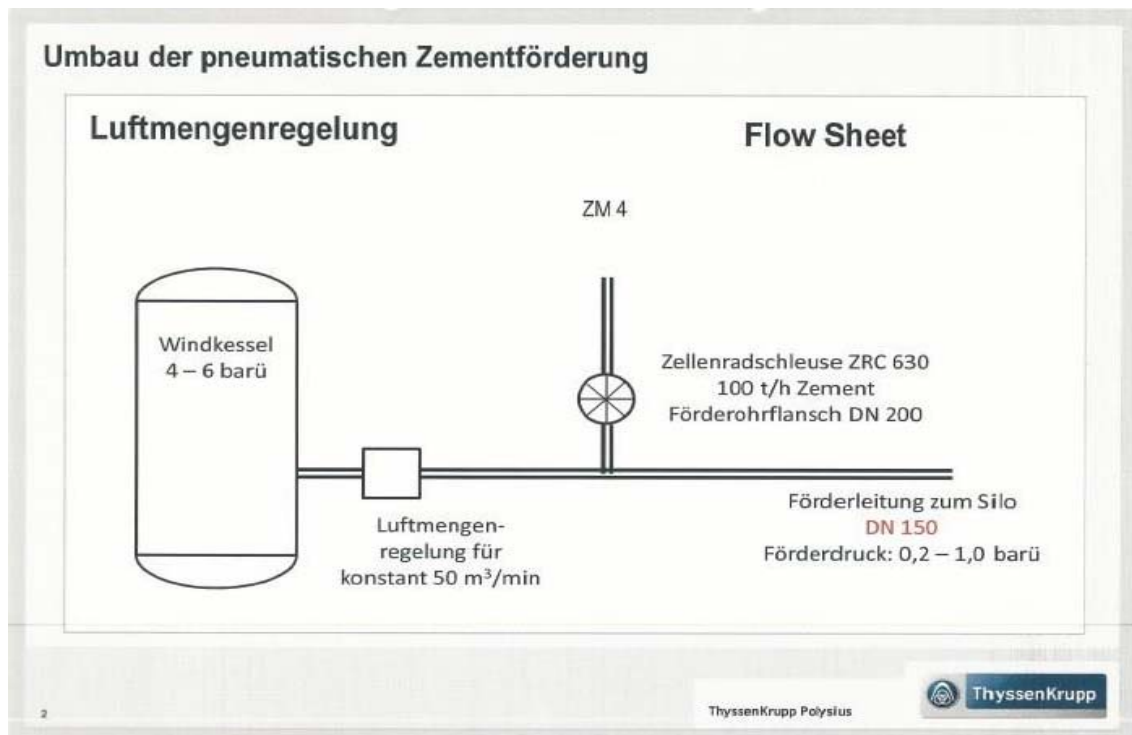


Abbildung 4: Fließschema Eintrag Zellenradschleuse ZM4¹⁸

Der vorhandene Kolbenverdichter kann durch einen ölfreien Schraubenverdichter, mit gleicher Ansaugmenge, ersetzt werden.

Laufzeit der ZM 4: 20Std. pro Tag
300 Tage pro Jahr¹⁹

Leistung des Motors bei Normalbetrieb:	50kW
Leistung Motor Zellenradschleuse:	3-5kW
Energiekosten Strom:	0,16Eur pro kWh

Energiekosten Schneckenpumpe:	48.000Eur pro Jahr
Energiekosten Zellenradschleuse:	2.880Eur pro Jahr

Ebenfalls fallen, nach Angaben der Firma TKRT, noch jährlich Kosten von €20.000 für Wartung und Instandhaltung der Schneckenpumpe, an. Die Fa. TKRT rechnet nicht mit einem Verschleiß der Zellenradschleuse nach dem ersten Betriebsjahr. Möglicherweise wird es notwendig sein, nach zwei Jahren die Wolfram- Karbid- Beschichtung am Rotor zu erneuern und die Wellendichtungen zu tauschen. Diese Reparaturen würden weit unter den Instandhaltungskosten der Schneckenpumpe liegen.

¹⁸ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

¹⁹ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

Auch im Bereich der Kolbenverdichter ergeben sich Einsparungen, wenn man die alten durch neue Schraubenverdichter ersetzt. Momentan liefert ein Kompressor die benötigte Druckluft. Dieser arbeitet bei einem Druck von 2,5-4bar. Die Leistungsaufnahme beträgt im Schnitt 150kW. Auch hier beträgt die durchschnittliche Laufzeit 20h pro Tag und 300 Tage im Jahr. Mit einem Energiepreis von 0,16Eur pro kWh, ergibt sich ein Betrag von 144.000Eur Energiekosten pro Jahr. Ein neuer Schraubenverdichter würde weniger Leistungsaufnahme benötigen und weitere Einbauten, wie Windkessel und Drosselventil, zur Luftmengen-regulierung, sind nicht mehr notwendig.

1.2.3 Förderanlage ZM5

Die ZM 5 hat einen maximalen Durchsatz von 100t/h. Das Gut gelangt über pneumatische Förderrinnen in einen Vorbehälter eines pneumatischen Druckgefäßförderers Pneumex. Der Transport erfolgt kontinuierlich und in folgenden Schritten:

- Material wird in das drucklose Gefäß eingefüllt
- nach dem Befüllen wird das Gefäß aufgepumpt
- Druckseitiges öffnen des Ventils zur Förderung
- Ventil schließen zur Wiederbefüllung
- Zulaufventil öffnen und Behälter befüllen

Über dem Pneumex befindet sich ein Entstaubungsfilter, welcher beim Befüllen und Entleeren, Verdrängungsluft bzw. Entspannungsluft, aus dem Behälter nimmt.

Daten des pneumatischen Druckgefäßförderers:

Hersteller:	Polysius
Typ:	Pneumex
Ausführung:	Einzelgefäß
Volumen:	1,3m ³
Förderleitung:	DN200
Max. Betriebsdruck:	8bar
Baujahr:	1972

Die Druckluftversorgung erfolgt über zwei Kolbenverdichter, diese arbeiten diskontinuierlich, die einen Windkessel mit einem Volumen von 4m³ befüllen. Der Druck im Windkessel befindet sich ständig zwischen 1,8 bis 2,6bar.²⁰

Die Luftmenge wird über eine Drossel geregelt.

²⁰ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 4; 12.11.2013



Abbildung 5: ZM5: Pneumex Förderbehälter und Fördergefäß²¹

Daten der Verdichter: Siehe Punkt **1.3.1. Förderanlage ZM4**

Aus Gründen der veralteten Verdichter wird eine Modernisierung angestrebt. Die Ersatzteilbeschaffung wird immer schwieriger und Spezialisten mit dem notwendigen Know-How stehen irgendwann nicht mehr zur Verfügung. Im Zuge dieser Umbaumaßnahme möchte die Fa. Leube auch die pneumatische Seite der bestehenden Anlage überprüfen, mit dem Ziel Betriebskosten und Wartungsarbeiten auf einen aktuellen technischen Stand zu bringen.

Von ZM 5 werden ein Rohmehlsilo und 10 weitere Zementsilos versorgt. Auch hier stellt sich, der nach Bedarf angebauten Silos, eine Problematik mit Förderwegen, unterschiedlichen Silohöhen und Umlenkungen. Daher ist für diese Anwendung eine pneumatische Förderung ideal, da aufgrund der Förderwege und Zubauten im Laufe der Zeit, mechanische Förderungen nicht durchführbar wären. Auch wenn Becherwerke, oder pneumatische Förderrinnen von den Betriebskosten günstiger wäre. Dadurch wird der Fokus darauf gelegt, die Rohrleitung so weit wie es möglich ist, nicht zu verändern und bei zu behalten.

²¹ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 15; 12.11.2013

1.2.3.1 Zusammenfassung ZM 5

Die pneumatische Förderung ab der ZM 5 erfolgt über einen Druckgefäßförderer Pneumex. Zwei Kolbenverdichter mit nachgeschaltetem Windkessel, versorgen diesen mit der benötigten Druckluft. Der Arbeitsbereich beträgt zwischen 1,8 und 2,6bar. Die gesamte benötigte Luftmenge muss auf diesen Druck vorverdichtet werden. Die Leistungsaufnahme der beiden Kompressoren beträgt 2x 153kW. Bei einer durchschnittlichen Laufzeit von 20h pro Tag und 300 Tagen, ergeben sich Energiekosten von ca. 95.600Eur, gerechnet mit 0,16Eur pro kWh.

In diesem Bereich der Anlage ist es nur erschwert möglich, parallel zum Pneumex eine Zellenradschleuse zu installieren. Aus Platzgründen sollte der Pneumex komplett entfernt, und gegen eine Zellenradschleuse getauscht werden. Die neuen Schraubenverdichter können anstelle der Kolbenverdichter eingebaut werden. Der Windkessel wird nach dem Neubau der Anlage nicht mehr benötigt.²⁴

Bei der ZM5 sollen zwei Schraubenverdichter anstelle der Kompressoren und eine Zellenradschleuse gegen das bestehende Druckfördergefäß getauscht werden. Anbei das Fließschema zur Neuanlage.

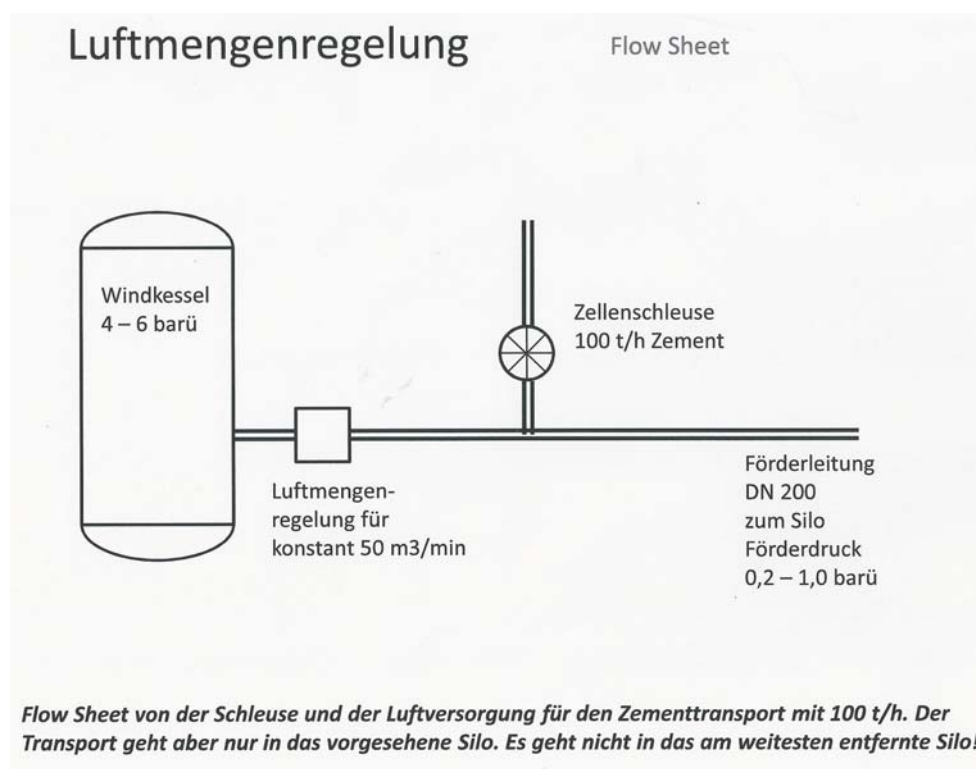


Abbildung 8: Fließschema Eintrag Zellenradschleuse ZM5²⁵

²⁴ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 7; 12.11.2013

²⁵ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

Über die Schraubenverdichter wird der Windkessel mit der Druckluft befüllt. Von dort gelangt diese im Bedarfsfall in die Förderleitung. Über die Zellenradschleuse wird der Zement in die Leitung dosiert und mit Hilfe der geregelten Druckluft und der richtigen Luftmenge, zu den Silos transportiert.

Um die richtige Luftmenge zu erhalten wird vor der Schleuse noch ein Luftmengenregler installiert. Die richtige Luftmenge im System ist sehr wichtig, da bei zu geringer Menge das Material in der Rohrleitung liegen bleiben kann. Bei zu hoher Luftmenge kommt es zu Verwirbelungen im Rohr und hohem Druckverlust.

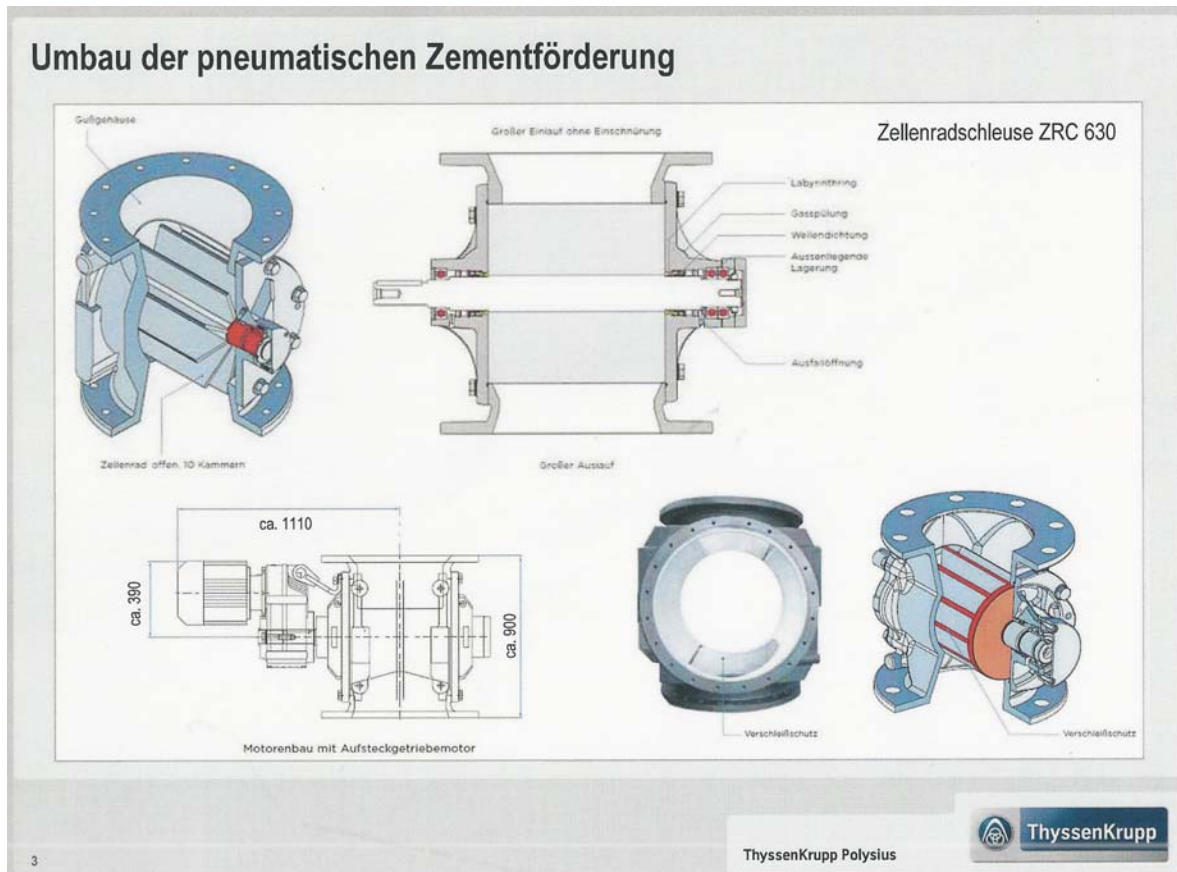


Abbildung 9: Aufbau und Schnitt einer Zellenradschleuse²⁶

²⁶ Angebot ThyssenKrupp Resource Technologies; Angebots Nr.: 17034294; Kennwort: LEUZEM; Herr B. Deventer; Seite 1-5; 13.11.2013 + Anhang Datenblätter

[illegible]

²⁷ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 17; 12.11.2013

2 Pneumatische Förderung

Eine Aufgabe dieses Projektes ist, die Auslegung und Dimensionierung eines pneumatischen Fördersystems. Durch den Ersatz von einer Schneckenpumpe (ZM4), und einem pneumatischen Druckgefäßförderer (ZM5), durch eine Zellenradschleuse, muss die Anlage davor berechnet werden. Dabei stellen sich folgende Fragen. Können die Rohrleitungen bestehen bleiben, oder muss umgebaut werden? Ist die Anwendung einer Zellenradschleuse möglich?

Um dies berechnen zu können, wird in den folgenden Kapiteln, die Theorie zu pneumatischen Förderanlagen erläutert. Danach folgt eine Berechnung der Förderanlage, in Zusammenhang mit der Theorie und den tatsächlichen Gegebenheiten der Anlage. Die Ergebnisse werden am Ende ausgewertet und analysiert.

Als Grundlage dient die allgemeine Fördertechnik, auf die nichtdetailliert eingegangen wird.

2.1 Grundlagen der Fördertechnik

In der Industrie, oder wie in diesem Fall ist es nötig ein gewisses Gut, von einem Punkt zu einem anderen zu transportieren. Um dies zu ermöglichen, werden, je nach Anwendungsart, diverse Förderanlagen installiert. In diesem Projekt soll der bereits fertige Zement von einer Übergabestation in einzelne Silos befördert werden.

Die Fördertechnik hat einen wichtigen Bestandteil in der Industrie gefunden.

Nahezu alle Materialien, egal in welchem Aggregatzustand (fest, flüssig, oder gasförmig) können transportiert werden.

Gasförmige und flüssige Stoffe werden meist durch Verdichter, oder Pumpen gefördert.

Jedoch den Großteil in der Fördertechnik stellt das Transportieren von festen Gütern. Diese werden unterschieden in:

Stückgüter, Schüttgüter

Um eine Förderung durchzuführen benötigt man ein zusätzliches Fördermittel, dass

- mechanisch
- hydraulisch

- pneumatisch

zum Einsatz kommen kann.

Bei der mechanischen Förderung werden einzelne oder mehrere Arbeitsgeräte verwendet. Hydraulisch wird bevorzugt Wasser als Fördermittel verwendet, bei der pneumatischen Förderung meist Luft.

Bei den letzten beiden genannten Förderungen handelt es sich meist um ein Schüttgut zusammen mit dem Fördermittel in einer Rohrleitung.

2.1.1 Pneumatische und dynamische Stetigförderer

Unterschieden wird in der Fördertechnik zwischen Stetig- und Unstetigförderern. Zu den Unstetigförderern zählen z.B. Kräne. Bei einem Förderband (Stetigförderer) wird ein Gut mit einem konstanten Massenstrom von einer Abgabestation zu seinem Abladeplatz transportiert. Des Weiteren gehören zu den Stetigförderern auch pneumatische Förderanlagen.

Die richtige Wahl der Förderanlage fällt oft nicht leicht und ist abhängig von den Prioritäten des Unternehmens und der Anforderung auf die Anlage

Entscheidungskriterium	pneumatische Förderung	mechanische Förderung
Energieverbrauch Förderweg Gutaufgabe	groß durch Gutreibung <i>flexibel in allen Richtungen</i> <i>einfach bei Sauganlagen</i>	<i>gering</i> häufig nur gerade Wege meistens nur mit Vordosierung
Gutbeanspruchung Anlagenverschleiß Größe des Korndurchmessers große Korndichte andere Guteigenschaften Aufwand für Antrieb Aufwand für Förderweg Vermischung bei Sortenwechsel staubfreie Förderung	groß bei Flugförderung <i>gering</i> begrenzt Energiebedarf steigt an Verstopfungsgefahr groß (Gebläse) <i>gering</i> (Rohr) <i>vermeidbar</i> <i>durch Abluftfilter</i>	<i>gering</i> groß bei hartem Korn <i>bei Bandförderung fast</i> <i>unbegrenzt</i> <i>unbedeutend</i> <i>unbedeutend</i> <i>gering</i> (Getriebemotor) groß (Fördermittel) besondere Reinigungs- vorrichtungen Aspirationsanlage erforderlich schlecht beherrschbar
Gefahr einer Staubexplosion hohe Temperatur	<i>vermeidbar durch Förde- rung unter Schutzgas</i> <i>möglich bei Sauganlage</i>	<i>möglich mit Trogketten- förderer</i>
Schallemission	a) am Gebläse b) an Förderleitung	<i>gering bei Gummigurt</i>

kursiv = vorteilhafte Förderung

Abbildung 11: Entscheidungskriterien pneumatische und mechanische Förderung²⁸

²⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S14

2.2 Grundlagen pneumatischer Förderanlagen

Um Verwechslungen auszuschließen, wird hier angenommen, dass bei einer pneumatischen Förderung, das Fördermittel Luft ist.

Ein Druckabfall in einer Rohrleitung, oder auch Widerstand, wird als Druckverlust behandelt. Dies ist ein nicht ganz unwesentlicher Bestandteil bei der Auslegung von Förderanlagen und wird auch in dieser Arbeit noch öfters zu finden sein. Ein Druckverlust hat immer einen Energieverlust zur Folge.

2.2.1 Grundlagen der Strömungslehre

„In einer pneumatischen Förderanlage herrschen die Gesetze der Mehrphasenströmung. Die feste (Schüttgut) strömt in einer gasförmigen (Luft).“ ²⁹

2.3 Dynamischer Druck

In der nachfolgend gezeigten **Abbildung 12**, wird ein Prandtl- Rohr von Luft in einer Rohrströmung umströmt. Dabei werden drei verschiedene Drücke als Differenzdrücke zum Atmosphärendruck gemessen.

- a) der Gesamtdruck Δp_{ges} entgegen der Rohrachse
- b) der statische Druck Δp_{st} in Richtung der Rohrwand
- c) der dynamische Druck Δp_{dyn} als Differenz zwischen Gesamt- und statischem Druck

Der Dynamische Druck ist für die weitere Berechnung die Bezugsgröße für alle Verluste bei reiner Luftströmung. ³⁰

2.3.1 Druckverlust bei reiner Luftströmung

In einem Rohr gilt folgende Gleichung für den Druckverlust, bei reiner Luftströmung:

$$\Delta p_L = \lambda_L \cdot \frac{\Delta l}{d} \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \quad 31$$

²⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S17

³⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S17

³¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S18

Der Druckverlustbeiwert λ ist unter anderem eine Funktion der Reynoldszahl

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad ^{32}$$

Unter Berücksichtigung, dass der Druckverlust bei reiner Luftströmung wesentlich kleiner, als bei der Gutförderung ist, kann man einen Druckverlustbeiwert $\lambda L = 0,02$ annehmen.

Bei einer erstmaligen Inbetriebnahme einer pneumatischen Förderanlage ist die Rohrrauigkeit groß, erst nach längerem Betrieb wird die Oberfläche geglättet. Dies kann bis zu 5% Durchsatzsteigerung zur Folge haben, aufgrund des niedrigeren Druckverlustes. ³³

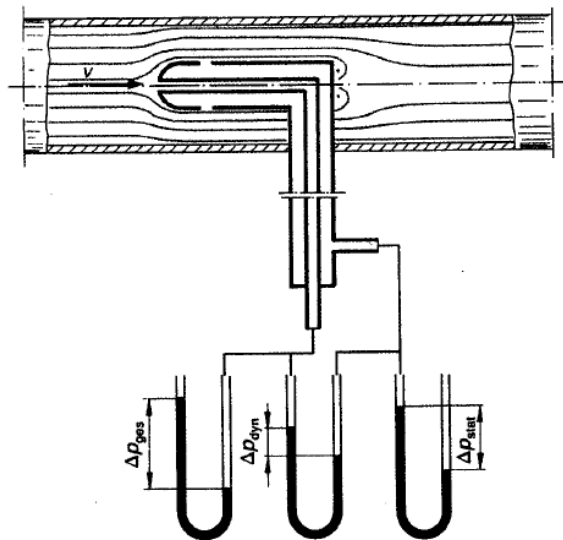


Abbildung 12: Prandtl- Rohr, zur Messung des dynamischen Drucks³⁴

2.4 Zustandsdiagramm der pneumatischen Förderung

Als erstes sollte man sich Gedanken machen, welche Art der Förderung man anstrebt. Dabei wird in Puffenförderung, Strahlenförderung, Flugförderung und Fließförderung unterschieden. Die Unterschiede werden etwas später noch genauer behandelt. Über das Zustandsdiagramm kann man die einzelnen Förderungsarten veranschaulicht begutachten. Im Zustandsdiagramm wird der Druckverlust Δp über die Luftgeschwindigkeit v und einem konstanten Gutmassenstrom Q_s aufgetragen.

³² Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S18

³³ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.20

³⁴ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik . S18

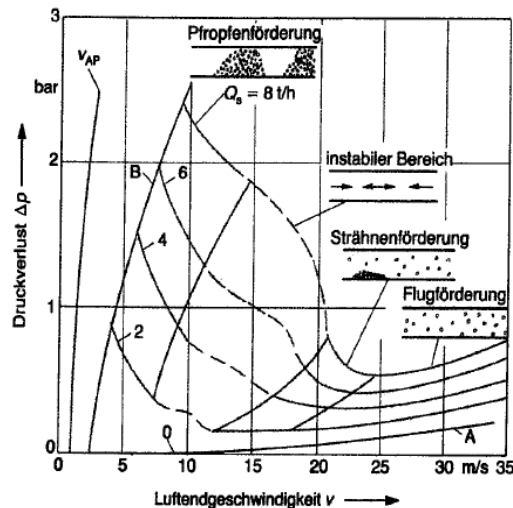


Abbildung 13: Zustandsdiagramm einer pneumatischen Förderanlage³⁵

Jedes Fördergut hat für die einzelnen Förderungen, waagrecht und lotrecht, ein eigenes Zustandsdiagramm. Aber zukünftig kann man aufgrund der Tatsache, dass man die Luftdichte längs des Förderweges nicht konstant halten kann, Anlagen nur mit großen Einschränkungen auslegen und Zustandsdiagramme als Auslegungsunterlage verwenden.

2.4.1 Grenzkurven

In *Abbildung 13* ist zu erkennen, dass es auch klare Grenzkurven für die Kurven die den konstanten Massenstrom Q_s zeigen.

Theoretisch betrachtet gehen die Kurven in Richtung $+v$ bis ins unendliche, jedoch muss an beachten, dass die meisten Körner bei einer Luftgeschwindigkeit ab 40m/s zerschlagen werden.

„In Richtung $-p$ die Grenzkurve A die Kurve $Q_s=0$. Unterhalb wird kein Schüttgut mehr gefördert.“³⁶

Die Grenzkurve B in Richtung $-v$ ist $Q_s=\text{konst.}$ Unterhalb reicht der Förderstrom nicht mehr aus, um das Schüttgut zu transportieren. Endgültig keine Förderung findet mehr statt, wenn man die die Geschwindigkeit unter dem Auflockerungspunkt erreicht.

„Bei geringeren Geschwindigkeiten wird das Festbett lediglich durchströmt und nicht mehr aufgelockert.“³⁷

³⁵ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.27

³⁶ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.28

Es gibt auch in Richtung +p eine obere Grenzkurve, oberhalb derselben das Fördermedium nicht mehr in gewünschter Menge in die Förderanlage eingeschleust werden kann. Der Luftvolumenstrom darf einen gewissen Wert nicht unterschreiten. *„Sollte der Fall eintreten, dass keine Luft mehr aufgrund des Fördergutes in die Anlage treten kann, so muss zumindest der Hohlraumanteil (psi) zwischen den Körnern gefördert werden können.“*³⁸ Hohlraumanteil ist das Hohlraumvolumen im Verhältnis zum Gesamtvolumen.

Dieser beträgt meist zwischen 40-50% des Gesamtvolumens. Es ist also nicht möglich einen größeren Gutvolumenstrom als Luftvolumenstrom in eine Anlage zu schleusen.

Diese Obergrenze wird also praktisch nie erreicht werden.

2.4.2 Flugförderung

Durch die hohe Luftgeschwindigkeit und der Kräfte fliegt ein Einzelkorn nahezu gleichmäßig durch das Rohr. Daher gilt diese als klassische Art der Förderung.

Die Luftgeschwindigkeiten liegen etwa in den Bereichen 20-35m/s, so dass diese im Wesentlichen höher sind als die Schwebegeschwindigkeit, und daher ein zurückfallen im lotrechten Rohr nicht möglich ist.

Die Schwebegeschwindigkeit v_{sch} ist jene Geschwindigkeit die benötigt wird, dass ein Korn, dass von unten angeblasen wird, im lotrechten Rohr in schweben bleibt. *„Sie ist gleich der freien Fallgeschwindigkeit.“*³⁹

Der Druckverlust bei Flugförderung ähnelt dem der reinen Luftförderung.

Als Grenze für die Art der Flugförderung steht der Faktor für die Gutbeladung μ . Der Höchstwert liegt dabei unter 30. Oberhalb verteilen sich die Körner nicht mehr so gleichmäßig im Rohr. Grobkörnige Fördergüter werden mit geringerer Beladung gefördert.⁴⁰

2.4.3 Strähnenförderung

Ab einer Luftgeschwindigkeit von 20-23m/s fällt das Korn, je nach Dichte und Größe, aus dem Luftstrom, und bewegt sich zum Teil als Strähne in der unteren Hälfte des Rohres. Dabei bilden sich Ballen und Pfropfen.

³⁷ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.28

³⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.28

³⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.23

⁴⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.23

Mit Zunahme der Gutbeladung und Abnahme der Luftgeschwindigkeit wird das Strömungsprofil der Luft asymmetrisch. Am Boden herrscht Strähnenförderung, während in der oberen Schicht Flugförderung herrscht. Bei der Strähnenförderung herrscht ein Druckverlustminimum. Unterhalb des Druckverlustminimums liegt der Bereich des minimalen Energieverbrauchs. Die für die Förderung erforderliche Gebläseleistung errechnet sich aus dem Produkt aus Druckverlust und Luftvolumenstrom. Die Auslegung einer pneumatischen Förderanlage erfolgt meist mit einer etwas höheren Luftgeschwindigkeit. Eine niedrigere Geschwindigkeit würde eine instabile Förderung bewirken. Die so genannte Stopfgrenze ist die Grenze der Strähnenförderung auf geringe Luftgeschwindigkeiten. *„Diese wurde von G. Segler bereits 1933 als die Geschwindigkeit ermittelt, bei der erstmals Fördergut im Rohr liegen blieb.“*⁴¹

Die Stopfgrenze ist auch von der Gebläsekennlinie abhängig, diese kann nicht von einer Anlage auf die nächste übertragen werden.

2.4.4 Pfpfenförderung

Dies ist eine stabile Art der pneumatischen Förderung, welche sich seit geraumer Zeit bereits bewährt hat. Luft im Rohr hat immer das Bestreben das Fördergut in Pfpfen aufzulösen. Die erforderliche Kraft und die Druckdifferenz um so einen Pfpfen zu verschieben ist nicht linear sondern quadratisch mit der Pfpfenlänge zunimmt.

Die Wandreibung, die den Pfpfen zusammenhält, verläuft unterproportional von Punkt 1 zu Punkt 2, wie nachfolgend in *Abbildung 14* erkennbar. Durch die Druckdifferenz in den Poren des Schüttgutes, nimmt der Druck in den Punkten 1 und 2, linear bei inkompressibler, und überproportional bei kompressibler Strömung, mit der Pfpfenlänge ab.

Eine Differenz zwischen den Kurven a und b wirkt sich als Kraft auf den Pfpfen aus. Würde der Pfpfen den ganzen Rohrquerschnitt ausfüllen, würde dieser aufgrund des inneren Drucks und der Porenströmung in viele einzelne Scheiben zerfallen. Jedoch ist die Schüttung in der oberen Rohrquerschnittshälfte lockerer und es strömt mehr Luft über die Rohrlänge. Über die gesamte Rohrlänge gesehen, zerfallen Pfpfen und bauen sich immer wieder auf.⁴²

⁴¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.30

⁴² Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.31

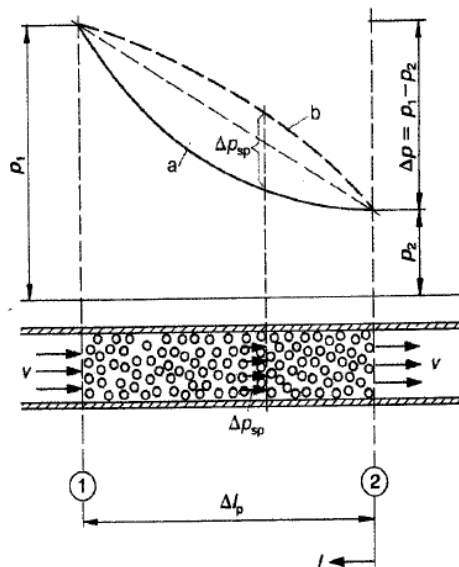


Abbildung 14: Entstehung eines Schüttgutpfropfens⁴³

Im Gegensatz zur Flugförderung, können bei der Pfpfenförderung im lotrechten Rohr, Luftgeschwindigkeiten von nur 1-2 m/s vorherrschen. Pfpfen schieben sich lotrecht am Rohr hoch. Körner die herunter fallen können vom nachfolgenden Pfpfen aufgefangen werden. Die Pfpfenförderung mit einem PE- Granulat kann die dreifache Druckdifferenz, jedoch ein Drittel der Luftmenge, wie bei Flugförderung, hervorrufen.

Die Gebläseleistung inkompressibler Medien ist: $P = \Delta p \cdot V$ ⁴⁴

2.4.5 Instabiler Bereich

Bisher wurde noch keine Aussage über die Geschwindigkeitsänderung aufgrund des Druckverlustes gemacht. Die Luftgeschwindigkeit verhält sich proportional zum Druck bei isothermer Zustandsänderung. „Das Druckverhältnis des Luftzustandes vom Anfang bis zum Ende eine Druckleitung ist 3:1, wenn der Druckverlust in einer Förderleitung 2bar beträgt.“⁴⁵

„Demnach bekommt man bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 6m/s eine Endgeschwindigkeit von 18m/s.“⁴⁶

Also würde sich daraus ergeben, dass sich am Anfang eine Pfpfenförderung, und am Ende eine Strähnenförderung einstellen würde.

⁴³ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.31

⁴⁴ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.32

⁴⁵ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.32

⁴⁶ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.32

Es erfolgt ein stetiger Übergang von Flug auf Strähnenförderung, bei weiterem Absenken der Luftgeschwindigkeit stellt sich plötzlich Pfpfenförderung ein. Dieser Übergang ist erfolgt jedoch unstetig, aufgrund anderer Gesetze der Strömung und Druckverluste. Aufgrund des höheren Druckes gibt das Gebläse eine niedrigere Luftmenge ab, wodurch die Luftgeschwindigkeit sinkt. Am Ende der Rohrleitung bildet sich der Umschlagpunkt von Flug- auf Pfpfenförderung.

Die Steilheit einer Gebläsekennlinie ist dabei zu beachten. In früheren Auslegungen wurde dies nicht beachtet und es kam zu Verstopfungen.

Luftversorgungen sind heutzutage so ausgelegt, dass die Luftmenge und Luftgeschwindigkeit, unabhängig vom Widerstand sind. Dennoch ist der Übergang von Flug- auf Pfpfenförderung nicht stationär. Es kann z.B. sein, dass der Übergang vor oder hinter einem Krümmer stattfindet. Daher spricht man von einem instabilen Übergangsbereich.⁴⁷

2.4.6 Fließförderung

Wenn das Schüttgut gewisse Eigenschaften bietet, kann es in der Rohrleitung fluid-ähnliches Verhalten aufweisen. Mit einem guten Lufthaltevermögen lässt sich das Schüttgut wie Wasser durch die Anlage transportieren. Daraus ergibt sich, dass man ein Zustandsdiagramm ohne Pfpfenförderung und instabilen Bereich erhält. Die Kompressibilität der Luft ist dabei zu vernachlässigen und man betrachtet das Fördergut gleichmäßig über den Rohrquerschnitt verteilt.

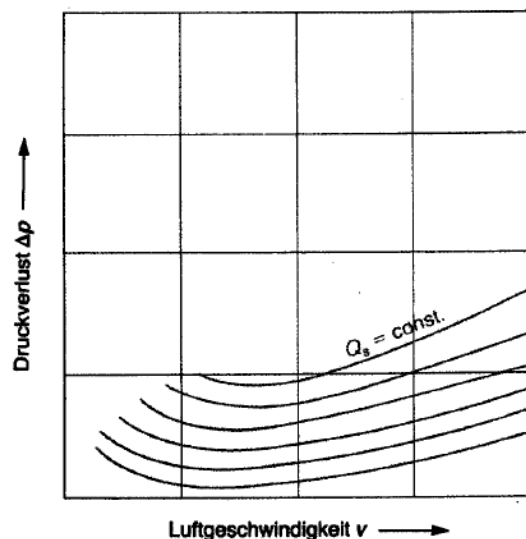


Abbildung 15: Zustandsdiagramm bei Fließförderung⁴⁸

⁴⁷ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.33

⁴⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.34

2.5 Fördergüter in der Förderanlage

Die Funktionsweise einer pneumatischen Förderanlage ist in *Abbildung 16* zu sehen. Ein Gebläse liefert den benötigten Druck zur Förderung eines Schüttgutes. Über eine Zellenradschleuse wird das Fördergut, gegen den Druck des Gebläses, in die Rohrleitung abgegeben. Das Fördergut wird nun, aufgrund der Druckluft des Gebläses, über die Transportleitung in einen Abscheider befördert. Über diesen Abscheider wird das Schüttgut von der Druckluft getrennt und gelangt dann in ein Silo, Lager, oder wird weiter verarbeitet. Die überflüssige Druckluft gelangt nach dem Abscheider in die Atmosphäre. Der Transport des Fördergutes ist einerseits bedingt durch das Fördergut selbst, andererseits auch über die Ausführung der Anlage. Diese Kriterien werden in den nächsten Punkten genauer beschrieben.

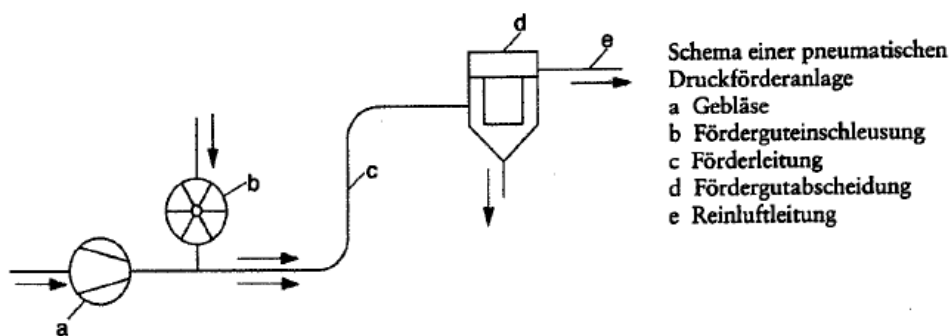


Abbildung 16: Schema einer pneumatischen Förderanlage⁴⁹

2.5.1 Gutbeschleunigung

Bevor ein Fördergut in eine Förderleitung gelangt müssen folgende Kriterien erfüllt werden:

- der Zulaufquerschnitt für das Fördergut muss richtig dimensioniert sein.
- der Zulaufdruck und Zulaufgeschwindigkeit sollte nicht zu gering sein.
- Schleusenleckluft zum Zulauf des Fördergutes, ist nicht vermeidbar, jedoch sollte diese so gering wie möglich sein.
- eine geringere Beschleunigung des Gutes verlangt die Einschleusung in die waagrechte Rohrleitung, und dadurch auch einen geringeren Energieaufwand.
- Gutmassenstrom sollte an der Stelle eingeschleust werden, an der das Produkt aus Gutgeschwindigkeit c mal dem Rohrquerschnitt A am geringsten ist. Analog dazu:

⁴⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.34

$$Q_S = \rho_{ss} \cdot c \cdot A^{50}$$

2.5.2 Gutbeschleunigung bei Flugförderung

Durch das Eintreten des Fördergutes in die Rohrleitung, wird dieses vom Luftstrom erfasst und beschleunigt. Am Eintritt stellt sich eine hohe Beschleunigungskraft ein, und wird mit steigender Gutgeschwindigkeit c im System, geringer.

Nach Gleichung ($Q_S = \rho_{ss} \cdot c \cdot A$) erkennt man, dass wenn die Gutgeschwindigkeit $c=0$ ist, kein Fördergut in die Rohrleitung eingeschleust werden kann. Also muss eine Geschwindigkeit des Fördergutes, wenn auch nur gering, vorhanden sein.

Am Beginn einer Beschleunigungsstrecke liegen die Körner des Fördergutes nahe beieinander. Durch die größer werdende Geschwindigkeit verteilen sie sich vermehrt im Rohr. Werden die Wandreibung und die Reibung einzelner Körner untereinander vernachlässigt, so ergibt sich folgende Beziehung:

$$l = \frac{v_{sch}^2}{g} \cdot \left(\frac{c}{v-c} - \ln \frac{v}{v-c} \right)_{51}$$

Aus dieser Beziehung kann nicht nach der Gutgeschwindigkeit c aufgelöst werden.

Es hat sich aber gezeigt, dass für gewisse Fördermedien, wie Sämereien usw., sich nach 8m Rohrlänge, bereits eine konstante Geschwindigkeit des Gutes eingestellt hat. Dies gilt jedoch nicht für alle Fördergüter. Auch die Erkenntnis der konstanten Gutgeschwindigkeit kann nicht für jede Förderanlage verwendet werden, da Förderanlagen stets konstruktiv anders aufgebaut sind. Meist stehen keine 8m waagrechte Beschleunigungsstrecke zur Verfügung, aufgrund von Krümmern oder Weichen.

⁵⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.35

⁵¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.36

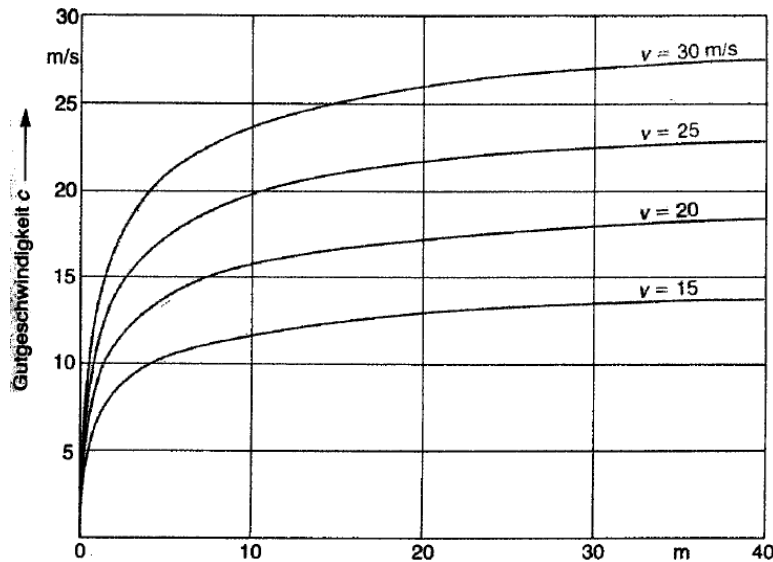


Abbildung 17: Verlauf der Gutgeschwindigkeit nach Einschleusung ohne Gutreibung⁵²

2.5.3 Gutbeschleunigung bei Pfropfenförderung

Bei der Pfropfenförderung findet bei Luftgeschwindigkeiten von unter 8m/s keine sofortige Beförderung des Gutes statt. Bei einer Einschleusung legt sich das Korn zuerst am Rohrboden ab und bildet einen Pfropfen. Erst wenn dieser eine gewisse Länge erreicht, dann beginnt die eigentliche Förderung. Aufgrund der Differenzdrücke werden die Pfropfen dann mit einer geringen Geschwindigkeit weiter transportiert. Die geringe Geschwindigkeit hat zur Folge, dass keine zusätzlichen Druckverluste im Rohr für Gutbeschleunigung auftreten.

2.5.4 Beharrungszustand

Durch den Stoß der Körner auf die Rohrwand, oder auf andere Körner, werden diese ständig abgebremst und neu beschleunigt. Daraus lässt sich eine mittlere Gutgeschwindigkeit c im Beharrungszustand messen, welcher einen konstanten Druckverlust über die gesamte Druckleitungslänge ergibt.

⁵²

Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.37

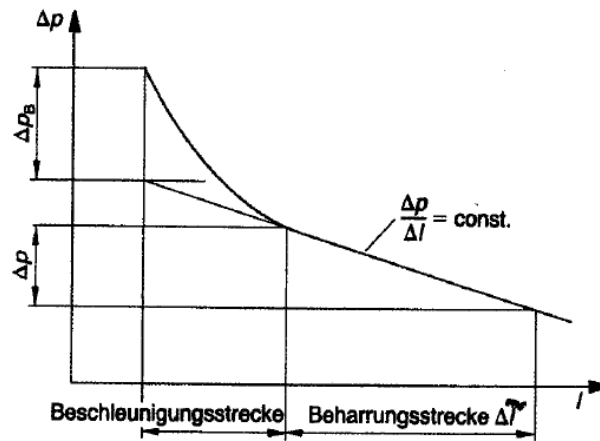


Abbildung 18: Druckverlauf über die Rohrlänge⁵³

2.5.5 Beharrungszustand in der waagrechten Rohrleitung

Es ergibt sich ein zusätzlicher Druckverlust durch das Fördergut, über die Anströmung der Luft auf einzelne Körner. Gemessen wird das Verhältnis Gut- zu Luftgeschwindigkeit c/v über die Druckverluste nach:

$$\frac{c}{v} = 1 - \frac{A_1}{v} \cdot \left(\sqrt{1 + 2 \cdot \frac{v}{A_1}} - 1 \right)_{54}$$

Die Gleichung zeigt das Verhältnis c/v in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit.

- Das Geschwindigkeitsverhältnis c/v ist bei Strähnenförderung geringer als bei Flugförderung
- Das Geschwindigkeitsverhältnis ist über die waagrechte Förderleitung annähernd konstant
- Schwere Güter strömen langsamer durch die Förderleitung als leichtere
- Güter bewegen sich in Rohren mit größeren Durchmessern schneller, als bei kleineren Durchmessern

⁵³ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.38

⁵⁴ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.38

2.5.6 Beharrungszustand bei lotrechter Rohrleitung

Der Druckverlust im lotrechten Rohr ist etwas höher, da auch die Schwerkraft des Korn überwunden werden muss um es in schweben zu halten. Andererseits kann der Wandreibungsverlust vernachlässigt werden. „J. Flatlow und R. Vollheim messen, dass der Beharrungszustand bei Flugförderung erst nach 12m Beschleunigungsstrecke eintritt. Vollheim ermittelt im Beharrungszustand im lotrechten Rohr die Gutgeschwindigkeit c als den ohne Wandreibung zu erwartenden Wert.“⁵⁵

$$c = v - v_{sch}$$

Für das lotrechte Rohr ergibt sich daher kein konstantes Geschwindigkeitsverhältnis c/v .

2.5.7 Gutumlenkung im Rohrkrümmer

In der pneumatischen Förderung ist es möglich das Fördergut durch einen Rohrkrümmer umzulenken. Bei Flugförderung trennt sich das Fördergut vom Luftstrom.

2.5.8 Krümmerströmung

Im Krümmer folgt die Luft dem Verlauf der Rohrleitung, jedoch nicht das Fördergut. Dieses prallt auf den Krümmer und verliert einen Teil seiner Energie. Das Gut gleitet an der Krümmerwand entlang und erst beim Austritt wird es wieder vom Luftstrom erfasst und abermals beschleunigt. Je nach Größe des Korns und Radius des Krümmers, gleitet das Korn an der Wand entlang oder bewegt sich sprunghaft fort.

2.5.9 Verschleiß im Krümmer

Die Krümmer haben nicht nur die Auswirkung eines erheblichen Druckverlustes, sie sowie das Material, sind auch anfällig auf Verschleiß. Durch die hohen Geschwindigkeiten des Korns, die auf den Krümmer auftreffen, kann es zu Verschleiß sowie zu einem Bruch des Gutes kommen.

Je nach Form des zu fördernden Mittels kann auch das Material des Krümmers verschleiß. Diese lassen sich z.B. durch Verschleißmulden, oder Umlenk-töpfe verhindern.

⁵⁵ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.40

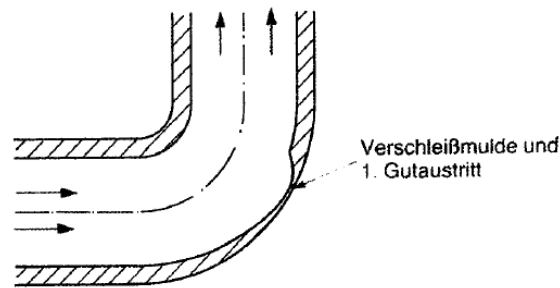


Abbildung 19: Verschleiß am Rohrkrümmer⁵⁶

2.5.10 Geometrie des Krümmers

„Viele Hersteller pneumatischer Förderanlagen setzten grundsätzlich ein Verhältnis, Krümmerradius zu Rohrdurchmesser R/d , von 6 ein.“⁵⁷ Dadurch, dass die Fördergüter meist durch den Krümmer gleiten und nicht springen wie angenommen, ist dies jedoch nicht zwingend notwendig. Je nach Art der Strömung können zum Teil Verhältnisse R/d von 1,5 angenommen werden. Um bei Flugförderung Verstopfung zu verhindern, ist dieser Wert nicht konstruktiv. Bewährt haben sich im Laufe der Geschichte Krümmungsradien von $R = 500\text{mm}$, 1000mm , 1500mm usw., da sie meist ein Verhältnis, Radius zu Durchmesser, von größer 6 aufweisen.

Mit ansteigendem Radius eines Krümmers verlängert sich die Verschleißzeit und auch der Druckverlust lässt sich bis zu einem bestimmten Grad minimieren. Als Alternative haben sich auch Konstruktionen aus einem Rohrknie mit Pralltöpfen bewiesen. Dabei füllt sich der Topf mit Fördergut. So kommt es nicht zum Aufprall mit der Krümmerwand, sondern es prallt Material auf Material. Dadurch verringert man den Verschleiß der Anlage.⁵⁸

2.5.11 Druckverlust im Krümmer

Im Krümmer wird das Material abgebremst und abermals beschleunigt. Dies ergibt im System der Förderung einen zusätzlichen Druckverlust. Ähnlich wie bei der Gutabgabe in die Förderanlage muss das Gut erst wieder beschleunigt werden. Einflussfaktoren sind hierbei die Luftgeschwindigkeit, der Krümmungsradius und das Fördergut.

⁵⁶ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.41

⁵⁷ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.42

⁵⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.42

2.5.12 Druckverlauf einer Förderleitung

Die einzelnen Widerstände in einer Förderanlage ergeben einen Gesamtdruckverlust. Die dadurch verlorene Leistung muss daher mit einem Gebläse überwunden werden, welche als Druckerhöhung dient.

Im nachstehenden Bild werden die einzelnen Druckverluste schematisch über eine Förderanlage dargestellt. Erkennbar ist, dass zu Beginn der Einschleusung, und an den Stellen, an denen das Fördergut immer wieder beschleunigt werden muss, die Verluste am höchsten sind.⁵⁹

2.5.13 Saug- und Druckanlagen

Bei pneumatischen Förderanlagen wird im Ganzen zwischen Saug- und Druckförderanlagen unterschieden. Unterschieden wird hierbei, ob sich das Gebläse vor oder nach dem Schüttguteintritt sitzt. Bei beiden Systemen ergibt sich über die gesamte Anlage ein Druckverlust. In Sauganlagen wird bei Atmosphärendruck eingeschleust, daher herrscht in der gesamten Anlage ein Unterdruck. Bei Druckanlagen herrscht in der gesamten Anlage ein Überdruck, der Austrittsdruck ist Atmosphärendruck.

Sauganlagen sind geeignet, wenn man von verschiedenen Standpunkten auf einen zentralen Ort fördert. z.B. bei Schiffsentladungen, oder zentrale Staubsaugeranlagen. Druckanlagen haben den Vorteil, wenn man von einer zentralen Übergabestation verschiedene Lagerorte z.B. Silos, beschickt. In Sonderfällen können auch Saug- Druckanlagen verwendet werden. Diese benötigen mehr Leistung und größere Rohrdurchmesser.⁶⁰

2.5.14 Betriebspunkt einer Förderanlage

Wie bereits beschrieben erhält man einen Betriebspunkt, durch den Schnitt der Anlagenkennlinie einer Förderanlage mit der Gebläsekennlinie. Nun werden diese für die Flugförderung und Pfpfenförderung beschrieben.

2.5.15 Betriebspunkt einer Flugförderung

Durch den Schnitt einer Anlagenkennlinie mit dem Schnittpunkt einer Gebläsekennlinie kann man den Betriebspunkt aus einem Diagramm herauslesen. Als Anlagenkennlinie dienen das Zustandsdiagramm bei Flugförderung und die Kennlinie eines Gebläses übereinandergelegt. Aus den Daten von Luftgeschwindigkeit v , dem Druckverlust dp und dem Massenstrom Q_s ergibt sich dann ein Betriebspunkt.

⁵⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.44

⁶⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.45

Würde man nun den Massenstrom erhöhen, würde sich der Druckverlust erhöhen. Auch die Luftgeschwindigkeit würde sich minimieren.

Daher je steiler die Gebläsekennlinie, desto sicherer ist der Betrieb. Durch Drosselung wird auch die Anlagenkennlinie steiler. Daraus lässt sich ein besserer Schnittpunkt zwischen Anlagen- und Gebläsekennlinie ermitteln. Um Verstopfung zu verhindern, ist somit auch die Kennlinie des Gebläses oder Ventilators ausschlaggebend. Folgende Kriterien sind für eine pneumatische Förderanlage zusammenstellen:⁶¹

- es muss ein reeller Schnittpunkt zwischen beiden Kennlinien existieren
- die Anlagenkennlinie muss flach, die Gebläsekennlinie steil sein
- durch eine Veränderung des Gutmassenstroms muss ein reeller Schnittpunkt vorhanden sein
- bei Sauganlagen ist eine flachere Gebläsekennlinie
- Die Steilheit einer Gebläsekennlinie ist auch von der Lufttemperatur abhängig
- Undichtheiten verursachen Leckluft und verändern den Luftvolumenstrom, welche sich wieder auf die Kennlinie des Ventilators auswirkt.⁶²

2.5.16 Betriebspunkt bei Pfropfenförderung

Die zuvor beschriebenen Kriterien sind für diese Art der Förderung ebenfalls gültig. Wie zu sehen sind die Anlagenkennlinien steiler, als bei Flugförderung. Die Drücke sind höher und die Luftmengen geringer. Bei der Pfropfenförderung ist es noch wichtiger, dass die Gebläsekennlinie steil ist. Durch die Hinzunahme von Lavaldüsen, zur Luftmengenregulierung, und einer steilen Gebläsekennlinie, ist ein sicherer Betrieb möglich. Aufgrund hoher Luftdrücke wirken sich Undichtheiten noch gravierender aus.

Das hat zur Folge, dass die Gebläsekennlinie gedrückt (flacher) wird, um die benötigte Druckluft zu liefern.⁶³

⁶¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.49

⁶² Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.49

⁶³ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.51

3 Berechnung pneumatischer Förderanlagen

In diesem Kapitel wird die theoretische Berechnung einer pneumatischen Förderanlage beschrieben. Sie gilt als Grundlage für die Kalkulation dieses Projektes.

3.1 Allgemein

Auf die, in Kapitel 2 beschriebene Theorien, folgen nun die Berechnungen und deren Vorgehensweise. Sie dient sozusagen als Anleitung zur Berechnung einer pneumatischen Förderanlage.

3.1.1 Ziele Der Berechnung

Das Ziel der Berechnung, ist es anhand von gegebenen Anlagenwerten, gesuchte und unbekannte Daten zu ermitteln. Wie bereits einschlägig beschrieben, wird man auch weiter sehen, dass die Beziehung zwischen Rohrdurchmessern und Druckverlust, einen erheblichen Anteil an der Kalkulation in Anspruch nimmt. Über einen berechneten Luftvolumenstrom, ist es dann möglich die benötigte Gebläseleistung zu ermitteln.

Bei größeren Rohrdurchmessern ist der Anlagenverlust zwar geringer, führt jedoch zu höheren Anlagen und Betriebskosten. Das Risiko den Anlagendruck nicht zu erreichen wird geschmälert.

Bei niedrigeren Rohrdurchmessern, erhöht sich der Druckverlust, aber Anlagen- und Betriebskosten können sich minimieren. Der Durchmesser ist so zu wählen, dass er keineswegs zu klein ist, um somit Regresskosten zu verhindern. Regress- bzw. in weiterer Sicht können Folgekosten, bei einem Ausfall einer Produktionsanlage entstehen. Der Durchmesser sollte oberhalb des Regresskostensprungs liegen, soweit, dass sämtliche Risiken abgedeckt sind.⁶⁴

Anbei ein Diagramm, das den Verlauf Kosten über den Rohrleitungsdurchmesser zeigt.

⁶⁴

Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.80

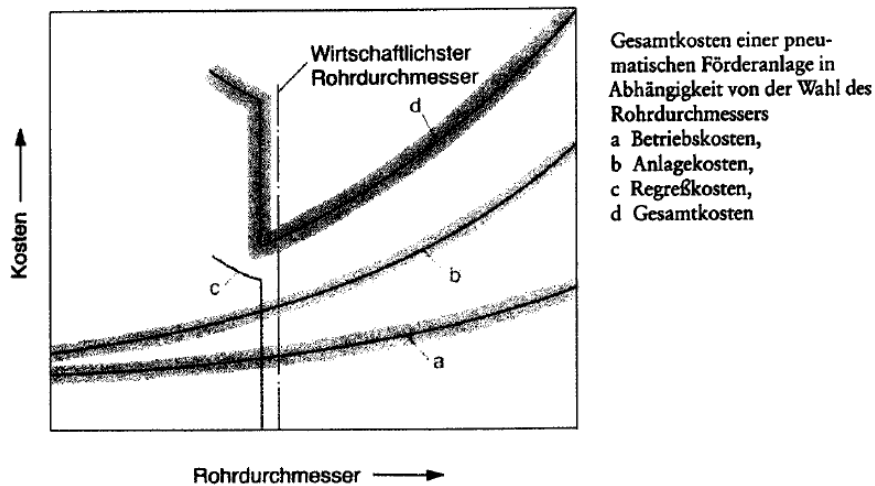


Abbildung 20: Kosten einer Förderanlage, in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers⁶⁵

Risiken:

- Sicherheit des Berechnungsverfahrens
- Abhängigkeit der Anforderung an die pneumatische Förderung
- Eigenschaften des Fördermittels

3.1.2 Andere Berechnungsverfahren

Die wichtigste Größe bei der Berechnung einer pneumatischen Förderanlage ist der Druckverlust im System. Dieser wird aufgrund des Fördergutes erzeugt und ist von dessen Eigenschaften abhängig. Der Druckverlust ist des Weiteren eine Funktion aus dem Massenstrom (Q_s), der Förderlänge Δl , der Luftgeschwindigkeit v und des Rohrdurchmessers d :

$$\Delta p_s = \phi_s(\Delta l, Q_s, v, d)^{66}$$

Es gibt viele weitere Berechnungsverfahren mit denen heute die Industrie pneumatische Förderanlagen auslegt.

⁶⁵ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.80

⁶⁶ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.81

3.2 Grundlagen der Berechnung von pneumatischen Förderanlagen

3.2.1 Druckverlust bei Gutförderung

Seit G. Segler war die Fachwelt auf der Suche nach einem Druckverlustbeiwert λ_s für die Gutförderung ähnlich dem Beiwert für die reine Luftströmung. W. Barth beschrieb den Druckverlust bei der pneumatischen Förderung analog zur reinen Luftströmung mit folgender Gleichung: $\Delta p = (\lambda L + \mu * \lambda L) * (\Delta l / d) * (\rho L / 2) * v^2$ ⁶⁷

Durch die Multiplikation des Druckverlustbeiwertes mit der Gutbeladung μ , welche bei Flugförderung zwischen 10-20 liegt, hat der zweite Term eine wesentlichere Bedeutung. Der Druckverlustbeiwert λ_s ist kein Konstante, ist anhängig von mehreren Einflüssen:

- Gutmassenstrom Q_s
- Luftgeschwindigkeit v
- Rohrdurchmesser d

Der Druckverlustbeiwert λ_s wird von E. Muschelknautz und M. Bohnet über die Froudezahl aufgetragen, mit der Gutbeladung μ als Parameter.

$$FR = v / \sqrt{(d * g)} \text{ }^{68}$$

Dennoch gibt es Nachteile, was die Auftragung $\lambda_s(F_R)$ betrifft. Diese sind:

- Bei Flugförderung sind die Druckverlustbeiwerte nicht konstant. Druckverlustbeiwerte sind bei Rohren größeren Durchmessers um vielfaches höher. Im Bereich kleiner Froudezahlen schieben sich diese zu vieldeutigen λ_s - Werten zusammen.
- Bei großen Froudezahlen trifft man nur auf kleine Rohrdurchmesser. Sie liegen aufgrund der Auftragung nahe beieinander, differieren jedoch um den Faktor 2, der zu hoch ist für eine Berechnung.
- Eine Änderung des Drucks, verändert sich auch die Luftdichte und Luftgeschwindigkeit. Die Berücksichtigung der Luftdichte erschwert, bei einem nicht konstanten Druckverlustbeiwert λ_s , die Berechnung und Erfassung.

⁶⁷ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.83

⁶⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.83

3.2.2 Grundgleichung zum Zustand in der Förderleitung

In der pneumatischen Förderleitung gilt das Kontinuitätsgesetz, dieses besagt, dass der Luftmassenstrom im Querschnitt 1, gleich dem im Querschnitt 2 ist.

$$\rho_{L1} \cdot v_1 \cdot d_1^2 = \rho_{L2} \cdot v_2 \cdot d_2^2$$

Bei konstantem Rohrdurchmesser ergibt das:

$$\rho_{L1} \cdot v_1 = \rho_{L2} \cdot v_2$$

$$v_2/v_1 = p_1/p_2 \quad ^{69}$$

Längs der Förderleitung nimmt die Geschwindigkeit zu, auch wenn die Drücke abnehmen. Die Geschwindigkeitszunahme ist allerdings unerwünscht, da sie den Verschleiß und den Energieverbrauch erhöht. Um dies zu verhindern erhöht man an gewissen Stellen den Rohrdurchmesser.

3.3 Berechnung einer pneumatischen Förderanlage ohne Berücksichtigung der Kompressibilität

In **Punkt 3.2.2** wurde erläutert, dass die Luftgeschwindigkeit über die Rohrlänge zunimmt. Umgekehrt verhält es sich mit der Luftdichte. Über die Rohrlänge nimmt der Druckverlust nach obiger Gleichung, über die gesamte Strecke zu. In den Näherungsgleichungen, erkennt man, dass die Dichte als inkompressibel angesehen wird und nicht berücksichtigt wird. Bis zu einer Druckerhöhung von 10% bis max. 15% kann diese auch vernachlässigt werden. Bis 100mbar Differenzdruck auf den Atmosphärendruck, oder bei Gebläse und Ventilatoren bis $\Delta p = 500\text{mbar}$ ist dies auch möglich. Bei größeren Druckdifferenzen bis 3bar, sollte man die Kompressibilität der Luft berücksichtigen.

3.3.1 Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeit sollte stets so gewählt werden, dass ein Druckverlustminimum angestrebt wird. Durch Zuhilfenahme von Lavaldüsen wird die Gebläsekennlinie steiler und die Luftgeschwindigkeit um bis zu 40% gesenkt.⁷⁰

⁶⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.89

⁷⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.93

3.3.2 Druckverlust

Der Gesamtdruckverlust setzt sich aus sechs Einzelwiderständen zusammen. Zwei werden von der reinen Luftströmung beeinflusst, vier durch das Fördergut.

3.3.3 Luftreibungsverlust

Definiert wird der Luftreibungswiderstand, der gleich ist wie der Widerstand bei reiner Luftströmung.

$$p_L = \lambda_L * \frac{d_L}{d} * \frac{\rho_L}{2} * v_L^2 \quad 71$$

Als Druckverlustbeiwert kann $\lambda_L = 0,02$ angenommen werden. Das gilt auch für die Luftdichte $\rho_{L0} = 1,2 \text{ kg/m}^3$

3.3.4 Lufteinzelwiderstände

Mit folgender Gleichung werden die Lufteinzelwiderstände berechnet: ⁷²

$$p_W = \sum \zeta * \frac{\rho_L}{2} * v^2$$

ρ_{L0} und v sind die örtliche Luftdichte und Luftgeschwindigkeit. Die Lufteinzelwiderstände sind mit ζ bezeichnet. Die Einzelwiderstände können auftreten durch:

- Querschnittsveränderung
- Rohrkrümmer
- Düsen
- Abscheider
- Zyklone
- Filter usw. ⁷³

⁷¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.94

⁷² Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.94

⁷³ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.94

Es ist sinnvoll Druckverluste in der Förderleitung und der Luftleitung separat zu rechnen. Querschnittsveränderungen sollten nur in Form von Querschnittserweiterungen auftreten, der dadurch auftretende Druckverlustgewinn kann vernachlässigt werden. Die Lufteinzelwiderstände kann man dann später zu den Förderleitungsverlusten addieren und dafür ein passendes Gebläse auswählen.

3.3.5 Gutreibungsverlust

$$p_R = \frac{\lambda_s * dL}{d} * dL * \mu * \frac{\rho L}{2} * vL^3 \quad 74$$

λ_s ist der Widerstandsbeiwert. Dieser wird mit der Rohrlänge $\Delta l_1=1m$ fakturiert und ist auf den Rohrdurchmesser bezogen. Dadurch wird dieser Wert dimensionslos. Der Wert $\Delta l/l$ wird als die Förderlänge in Meter Rohr beschrieben. Ebenfalls ist die Gutbeladung μ und der dynamische Druck enthalten.⁷⁵

3.3.6 Hubverlust

Der Hubverlust beschreibt das Gewicht der, auf den Rohrquerschnitt bezogenen, Schüttgutsäule.

$$p_H = \mu * \frac{\rho L}{2} * v^2 * \frac{Z * h * g}{\frac{c}{v} * v^2} \quad 76$$

Den Hubverlust beschreibt J. Flatow wesentlich größer als den Reibungsverlust im lotrechten Rohr. Aufgrund der Übersicht wird in der Berechnung des Reibungsverlustes Δl als gesamter Förderweg (lotrechte und waagrechte Rohrleitung) eingesetzt. Im Hubverlust wird dann nur Δh (geodätische Höhe) in Betracht gezogen, nicht aber der Reibungsverlust. In der Gleichung stößt man auf den Faktor c/v . Dieser beschreibt das Geschwindigkeitsverhältnis Massenstrom zu Luftstrom. Feinkörniges Fördergut hat ein höheres Geschwindigkeitsverhältnis als grobkörniges. Fördergut, das relativ grobkörnig ist, hat eine höhere Anströmfläche. Dadurch wird als Verallgemeinerung folgendes vorgeschlagen:

staubförmiges Fördergut $c/v= 0,8$

grobkörniges Fördergut $c/v= 0,7$

⁷⁴ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.95

⁷⁵ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.95

⁷⁶ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.95

Der Übergang dieser Werte ist recht flexibel, da das Verhältnis c/v beim Hubverlust im Nenner und beim Beschleunigungsverlust im Zähler steht. Fehler heben sich dadurch wieder teilweise auf.

3.3.7 Beschleunigungsverlust

Über eine Förderlänge Δl wird das Fördergut auf eine Gutgeschwindigkeit c des Beharrungszustandes gebracht.

$$\Delta p_B = \mu \cdot (\rho_L/2) \cdot v^2 \cdot 2 \cdot (c/v) \quad 77$$

Der Hubverlust ist demnach sehr stark abhängig vom Geschwindigkeitsverhältnis c/v . „So müssen bei $v=30\text{m/s}$ die schweren Stahlkugeln mit $c/v=0,55$ nur auf 17m/s beschleunigt werden, während das feine Polystyrolgranulat, mit $c/v=0,9$, auf 27m/s beschleunigt wird.“ Dies ist jedoch mit einem höheren Energieverlust verbunden.

3.3.8 Krümmerverlust

Der Krümmerverlust beschreibt ebenfalls einen Beschleunigungsverlust, der aber eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit des Fördergutes beinhaltet, und nur durch den Aufprall auf den Krümmer abgebremst wird. Über den Impulssatz erhält man dann die Gleichung für den Krümmerverlust:

$$\Delta p_K = \mu \cdot (\rho_L/2) \cdot v^2 \cdot i^2 \cdot (c/v) \quad 78$$

Der Krümmerverlust beträgt ca. 30-50% des Beschleunigungsverlustes. Der Verlust bei Krümmern ist bei waagrechten anders als bei waagrecht/lotrechten. Auch zwei Rohrumlenkungen kurz nacheinander ist nicht als doppelt zu rechnen, denn das Fördergut wird nach dem ersten Krümmer nicht auf die gesamte Gutgeschwindigkeit beschleunigt.

3.3.9 Gesamtdruckverlust

Aus den davor beschriebenen Druckverlusten erhält man dann als Summe einen Gesamtwiderstand der pneumatischen Förderanlage.

$$p_{\text{Ges}} = p_L + p_R + p_H + p_B + p_K \quad 79$$

⁷⁷ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.96

⁷⁸ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.97

⁷⁹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.97

3.3.10 Auslegung einer pneumatischen Förderanlage bei Vernachlässigung der Kompressibilität der Luft

Durch die Vernachlässigung der Kompressibilität der Luft, das nur bei kleinen Drücken vertretbar ist, können Saug- und Druckanlagen dementsprechend gleich kalkuliert werden.

3.3.11 Rohrdurchmesser

Durch die Tatsache, dass bei wirtschaftlich gut ausgelegten Förderanlagen die Gutbeladung μ größer 10 ist, ist der Druckverlustanteil Δp_s wesentlich höher als der Luftreibungswiderstand Δp_L .

$$\Delta p_s = \mu \cdot K_S \cdot (\rho L / 2) \cdot v^2 \quad 80$$

Den Faktor K_S erhält man aus der Gleichung des Gesamtwiderstandes, Q_s = der Massenstrom; v = die Luftgeschwindigkeit. Der Druckverlust Δp_s beschreibt dann den Druckverlust der vom Gebläse überwunden werden muss. Für die Gesamte Druckerhöhung des Gebläses setzt man meist 70% Δp_s ein, um später den Gesamtdruckverlust der Anlage abzudecken. Der daraus resultierende Rohrdurchmesser ist so nicht existent. Daher sucht man sich aus den verfügbaren Rohrdurchmessern den nächst größeren heraus. Der Widerstand wird aufgrund dessen kleiner. Reicht nach der Dimensionierung die Gebläseleistung noch nicht aus, muss eine weitere Rohrerweiterung durchgeführt werden und nochmal nachkalkuliert werden.

3.3.12 Luftvolumenstrom

Durch einen ausgewählten Rohrdurchmesser d und festgelegten Geschwindigkeit v ergibt sich ein Luftvolumenstrom:

$$V_L = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot v \quad 81$$

3.3.13 Leistungsbedarf

Durch die Vernachlässigung der Kompressibilität der Luft, kann folgende Gleichung zur Ermittlung der Leistung auf die Luft verwendet werden. Aufgrund des Wirkungsgrades des Gebläses wird sich eine höhere Antriebsleistung ergeben.

$$p = \Delta p \cdot V_L = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot v \cdot \Delta p \quad 82$$

⁸⁰ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.98

⁸¹ Vgl. Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik, S.99

4 Berechnung pneumatischer Förderanlagen

Durch die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Theorie, werden nun die pneumatischen Förderanlagen für die ZM 4 und ZM 5 berechnet.

4.1 Berechnung pneumatische Förderanlage ZM 4

Nun wird der Druckverlust für die Förderleitung von Zementmühle 4 zu Zementsilo 9 berechnet. Gewählt wurde die Strecke zum ZMS 9, da hier die längste Strecke für die Förderung zurückgelegt werden muss und somit den höchsten Druckverlust aufweist. Dieser ist ausschlaggebend zur Auswahl von Kompressoren und der Zellenradschleuse.

Angaben:

Massenstrom $Q_s = 40 \text{ t/h}$ (max. 60 t/h)

$d_L = 120 \text{ m}$ Förderweg gesamt

$d_h = 42 \text{ m}$ Hubweg (vertikale Leitung)

$i = 10$ Anzahl der Krümmer, Schieber usw.

$d = 0,15 \text{ m}$ Rohrrinnendurchmesser

$d_s = 0,04 \text{ mm}$ Korngröße lt. Firma Zementwerk Leu be GmbH (Bericht Cilas)

$\rho_s = 3040 \text{ kg/m}^3$ Korndichte $\rho_L = 1,2 \text{ kg/m}^3$ Dichte von Luft

$\rho_{ss} = 1420 \text{ kg/m}^3$ Schüttdichte

$\lambda = \frac{2s + d_L}{d}$ auf den Durchmesser bezogener Druckverlustbeiwert

$v_0 = 23 \text{ m/s}$ angenommener Wert. Luftgeschwindigkeit im Rohr

$$\mu = \frac{Q_s}{Q_L} \rightarrow Q_L = \frac{Q_s}{\mu} = \frac{\frac{40 \text{ t/h}}{h}}{20} = \frac{2 \text{ t/h}}{h}$$

$\mu =$ Gutbeladung,

$$V_L = \frac{Q_s}{\rho_L} = \frac{2000}{1,2} = 1667 \text{ m}^3/\text{h}$$

V_L = Massenstrom Luft

$$v_L = \frac{V_L}{A} \rightarrow v_L = \frac{V_L}{A} = \frac{1667}{\pi \cdot \frac{0,15^2}{4}} = 26 \text{ m/s}$$

v_L = Luftgeschwindigkeit im Rohr

Luftreibungsverlust

$$p_L = \lambda_L \cdot \frac{d_L}{d} \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_L^2 = 0,02 \cdot \frac{120}{0,15} \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 26^2 = 6508,8 \text{ Pa} \hat{=} 0,065 \text{ bar}$$

Gutreibungsverlust

$$p_R = \frac{\lambda_S \cdot d_L}{d} \cdot d_L \cdot \mu \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_L^2 = 0,18 \cdot 120 \cdot 20 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 26^2 = 175220 \text{ Pa} \hat{=} 1,752 \text{ bar}$$

Hubverlust

$$p_H = \mu \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \cdot \frac{2 \cdot h \cdot g}{\frac{\pi}{2} \cdot v^4} = 20 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 26^2 \cdot \frac{2 \cdot 42 \cdot 9,81}{0,8 \cdot 26^2} = 12600 \text{ Pa} \hat{=} 0,126 \text{ bar}$$

Beschleunigungsverlust

$$p_B = \mu \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \cdot 2 \cdot \frac{c}{v} = 20 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 26^2 \cdot 2 \cdot 0,8 = 12979 \text{ Pa} \hat{=} 0,129 \text{ bar}$$

Krümmerverlust

$$p_K = \mu \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \cdot t \cdot \frac{c}{v} = 20 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 26^2 \cdot 10 \cdot 0,8 = 64896 \text{ Pa} \hat{=} 0,6489 \text{ bar}$$

Gesamtdruckverlust

$$p_{\text{Ges}} = p_L + p_R + p_H + p_B + p_K = 0,065 + 1,752 + 0,126 + 0,129 + 0,6489 = 2,7 \text{ bar}$$

Der Gesamtdruckverlust, oder Förderdruck, der sich daraus ergibt, ist für die Förderung mit einer Zellenradschleuse zu hoch. Laut dem Bericht der Firma *Thyssen Krupp Resource*

Technologies, ist der maximal mögliche Druck, zur Förderung mit einer Zellenradschleuse, 1,1bar.⁸³

Auch durch die Änderungen der Gutbeladung μ , der Luftmenge Q_L , konnte kein passendes Ergebnis erzielt werden.

Weitere Ergebnisse:

bei $\mu=23$ $p_{Ges} = 2,42bar$

bei $\mu=25$ $p_{Ges} = 2,26bar$

Gutbeladungen können bis zu einem Wert von 28 gefördert werden. Darüber hinaus kann es passieren, dass das Fördergut nicht mehr befördert wird und in der Rohrleitung liegen bleibt.

Daher wird an diesem Punkt die Berechnung der pneumatischen Förderanlage, von ZM4 zu ZMS9, abgebrochen und mit den Angaben des Anlagenbauers weiter kalkuliert.

Theoretisch konnte kein Nachweis zur Förderung von Zement mit einer Zellenradschleuse erbracht werden. Durch die jahrelange Erfahrung der Firma TKRT, die einen Betrieb mit einer Zellschleuse garantiert, wurden zur Weiterbearbeitung dieser Arbeit, deren Ergebnisse übernommen.

4.2 Berechnung pneumatische Förderanlage ZM 5

Wie bei der Berechnung der ZM4, ist auch die Förderstrecke von ZM5 zu ZMS9 die weiteste.

Massenstrom $Q_5 = 70\text{to/h}$ (max. 100to/h)

$dL = 120\text{m}$

Förderweg gesamt

$dh = 32\text{m}$

Hubweg (vertikale Leitung)

$i = 5$

Anzahl der Krümmer, Schieber usw.

$d = 0,20\text{m}$

Rohrinnendurchmesser

$ds = 0,04\text{mm}$

Korngröße lt. Firma Zementwerk Leube GmbH (Bericht Cilas)

$\rho_s = 3040\text{kg/m}^3$

Korndichte

$\rho_0 = 1,2\text{kg/m}^3$

Dichte von Luft

$\rho_{ss} = 1420\text{kg/m}^3$

Schüttdichte

⁸³ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; 12.11.2013

$$0,18 = \frac{\lambda s \cdot dL}{d} \text{ auf den Durchmesser bezogener Druckverlustbeiwert}$$

$$v_0 = 23 \text{ m/s}$$

angenommener Wert

$$\mu = 20$$

Mischverhältnis Schüttgut zu Luft

$$\mu = \frac{Q_s}{Q_l} \rightarrow Q_l = \frac{\frac{100 \text{ t/h}}{h}}{25} = 4 \text{ t/h}$$

Volumenstrom Luft:

$$V_l = \frac{Q_s}{Q_l} = \frac{4000}{1,2} = 3333,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luftgeschwindigkeit:

$$V_l = A \cdot v_l \rightarrow v_l = \frac{V_l}{A} = \frac{3333,3}{\pi \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 106102 \text{ m/h} \hat{=} 29 \text{ m/s}$$

Luftreibungsverlust

$$p_L = \lambda L \cdot \frac{dL}{d} \cdot \frac{\rho L}{2} \cdot v_L^2 = 0,02 \cdot \frac{120}{0,20} \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 29^2 = 6055,2 \text{ Pa} \hat{=} 0,065 \text{ bar}$$

Gutreibungsverlust

$$p_R = \frac{\lambda s \cdot dL}{d} \cdot dL \cdot \mu \cdot \frac{\rho L}{2} \cdot v_L^2 = 0,18 \cdot 120 \cdot 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 29^2 = 272484 \text{ Pa} \hat{=} 2,72 \text{ bar}$$

Hubverlust

$$p_H = \mu \cdot \frac{\rho L}{2} \cdot v^2 \cdot \frac{2 \cdot h \cdot g}{\frac{v}{g} + v^2} = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 29^2 \cdot \frac{2 \cdot 32 \cdot 9,81}{0,8 \cdot 29^2} = 11772 \text{ Pa} \hat{=} 0,117 \text{ bar}$$

Beschleunigungsverlust

$$p_B = \mu \cdot \frac{\rho L}{2} \cdot v^2 \cdot 2 \cdot \frac{c}{v} = 25 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 29^2 \cdot 2 \cdot 0,8 = 20184 \text{ Pa} \hat{=} 0,201 \text{ bar}$$

Krümmerverlust

$$p_k = \mu * \frac{\rho L}{2} * v^2 * l * \frac{c}{v} = 25 * \frac{1,2}{2} * 29^2 * 5 * 0,8 = 50460 \text{ Pa} \triangleq 0,504 \text{ bar}$$

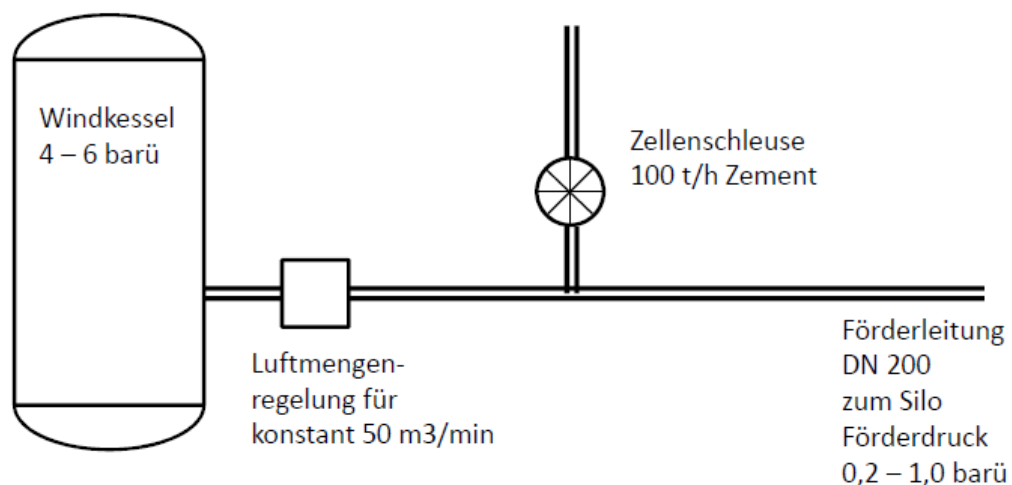
Gesamtdruckverlust

$$p_{\text{Ges}} = p_L + p_R + p_H + p_B + p_K = 0,065 + 2,72 + 0,117 + 0,201 + 0,504 = 3,6 \text{ bar}$$

Auch bei dieser Berechnung ist der Druckverlust über die gesamte Druckleitung zu hoch um eine Zellenradschleuse zu installieren. Jedoch auch hier kann auf die Erfahrung des Anlagenbauers zurückgegriffen werden. Dieser garantiert einen Betrieb mit einer Zellenradschleuse und berechnet einen Förderdruck von 0,2 bis 1bar. Die benötigte Luftmenge beträgt 50m³/min.⁸⁴

Luftmengenregelung

Flow Sheet



Flow Sheet von der Schleuse und der Luftversorgung für den Zementtransport mit 100 t/h. Der Transport geht aber nur in das vorgesehene Silo. Es geht nicht in das am weitesten entfernte Silo!

Abbildung 21: : Flow Sheet ZM5⁸⁵

⁸⁴ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse;; 12.11.2013

⁸⁵ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse;; 12.11.2013

5 Investitions- und Entscheidungsmethoden

In diesem Kapitel werden Methoden und Probleme bei der Anwendung von Investitions- und Entscheidungsrechnung beschrieben, miteinander verglichen und anhand der im Kapitel zuvor erhaltenen Ergebnisse analysiert und ausgewertet. Es werden die Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung erläutert. Daraus folgen Kapitel über das statische und dynamische Bemessungsverfahren und Grundlagen zur Amortisationsrechnung.

5.1 Grundlagen Investitionsrechnung

5.1.1 Begriff Investition

*„Unter Investition versteht man die Verwendung von Kapital, d.h. die längerfristige Bindung finanzieller Mittel in Vermögenswerten.“*⁸⁶ Als Investitionen werden demnach aber nicht Materialvorräte betrachtet. Investitionen werden in der Bilanz vor allem auf Seiten der Aktiva, und zwar im Anlagevermögen, abgebildet. Dazu zählen Maschinen, Grundstücke, Beteiligungen und vieles mehr. Das Volumen von Investitionen im Unternehmen ist deutlich höher als das Anlagevermögen, da viele der Investition rechtlich nicht in der Bilanz aufscheinen dürfen. Nicht bilanzierungsfähige Aufwendungen sind Gründung- und Eigenkapitalkosten, Kosten für Forschung und Entwicklung, sowie Marktforschungskosten.⁸⁷

Für Unternehmungen steigt die Bedeutung der Investitionsrechnungen, da Produktionsprozesse mechanisiert, automatisiert und kapitalintensiver werden. Um die Wettbewerbsfähigkeit aufrecht zu erhalten müssen die Firmen investieren. Die gesamtwirtschaftlichen Leistungen über das Jahr, für Modernisierung und Ausbau der Produktion, werden durch die Investitionsquote abgebildet.⁸⁸

5.1.2 Betriebswirtschaftlicher Zweck

Um am Markt auf Dauer zu bestehen müssen Unternehmen die zur Verfügung stehenden Geldmittel optimal nutzen. Gewinn- und Überlebenschancen steigen, wenn die Firmen

⁸⁶ Hans Paul Becker; S. 37; Investition und Finanzierung, Grundlagen der betrieblichen Finanzwirtschaft; 6. Auflage;; Verlag Springer Gabler 2013

⁸⁷ Hans Paul Becker; S. 37; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

⁸⁸ Däumler, Grabe; S. 12; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

richtige Investitionen erkennen und ausführen. Genauso gilt es schlechte Investitionen heraus zu filtern und somit Verluste zu verhindern.

Damit ergeben sich für die Investitionsrechnung drei Hauptaufgaben:

- **Einzelinvestition:** Stellt sich die Frage über ein Einzelobjekt, muss im Vorfeld die Vorteilhaftigkeit ermittelt werden. Dies erfolgt im Sinne der Ja- nein- Entscheidung
- **Alternativvergleich:** In der Planungsphase können mehrere Investitionen zur Wahl gestellt werden. Durch Vorauswahl werden die vorteilhaftesten Objekte auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft.
- **Nutzungsdauer:** Dabei stellen sich zwei Fragen. Wann sollen Bestandsanlagen ausgetauscht werden, oder noch warten? Wie lange kann ich die Neuanlage nutzen?

Es gilt heraus zu finden, wann der beste Zeitpunkt gekommen ist, eine alte Anlage durch eine neue zu ersetzen. Die Nutzungsdauer einer Neuanlage muss mit einer maximalen Vorteil für den Unternehmer bemessen sein.⁸⁹

- **Betrieblicher Zweck:** Um eine Investition mit einer relativen und absoluten Vorteilhaftigkeit zu bemessen, wird die Investitionsrechnung heran gezogen. Auch die Nutzungsdauer von Neuanschaffungen und der optimale Ersatzzeitpunkt können ermittelt werden.⁹⁰

5.1.3 Investitionsarten

Für Betriebe ist es wichtig, über die richtigen Informationen hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit der Objekte für die Investitionsentscheidung, zu verfügen.

Man unterscheidet bei den Investitionsarten wie folgt:

- **Sachinvestitionen:** Damit versteht man die Anschaffung von Sachvermögen, wie Grundstücke, Maschinen, Gebäude
- **Finanzinvestitionen:** Gelten als längerfristige Kredite, Beteiligungen an Unternehmen und Aktien

⁸⁹ Däumler, Grabe; S. 15; Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

⁹⁰ Däumler, Grabe; S. 16; Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

- **Immaterielle Investitionen:** Dies können Patente, Lizenzen, nicht bilanzierungsfähige Investitionen sein.⁹¹

Die Arten der Investitionsrechnung lassen sich auf zwei Arten von Verfahren unterteilen. Es gibt das statische und das dynamische Verfahren.

Das statische Verfahren sieht eine einperiodige Betrachtung, mit den Durchschnittswerten z.B. die Durchschnittskosten pro Jahr von einer Maschine vor. Das dynamische sieht eine längere Periodendauer vor, pro Jahr werden Ein- und Auszahlungen pro Jahr über die gesamte Nutzungsdauer berücksichtigt.

Bei den beschriebenen Verfahren ist zu differenzieren, ob es sich bei der Investition um eine Erweiterungs- oder Ersatzinvestition handelt.

Sucht man sich aus zwei oder mehreren Neuinvestitionsmöglichkeiten die günstigste aus, spricht man von einem Erweiterungsproblem. Das Ersatzproblem stellt sich, wenn man eine Bestandsanlage gegen eine Neuanlage tauscht.

Die Investitionsrechnung wird in die Beurteilung von Sach- und Finanzinvestitionen gegliedert. Abhängig davon ist die Art der Information, welche diese beiden Verfahren unterscheidet.

Die Anschaffung von Maschinen und die Kenntnis der Kosten einer Periode (statisches Verfahren), oder die Ein- und Auszahlungen über die gesamte Investitionsdauer (dynamisches Verfahren), zieht die Beurteilung von Sachinvestitionen nach sich. Bei der Beurteilung von Finanzinvestitionen werden auch die Zahlungsströme berücksichtigt, jedoch werden mehrere und komplexere Informationen benötigt, und ziehen in weiterer Folge verschiedene Verfahren nach sich.⁹²

5.2 Beurteilung von Sachinvestitionen

Zur Beurteilung von Sachinvestitionen liegt das statische und dynamische Verfahren zu Grunde. Ausschlaggebend zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit, ist der Zeitpunkt der erforderlichen Zahlungen. Zahlungen mit gleich großem Wert sind in der Zukunft geringer, als in der Gegenwart. Kalkulationen, bei denen dies nicht berücksichtigt wird, gehören zu den statischen Verfahren.

⁹¹ Hans Paul Becker; S. 37; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

⁹² Hans Paul Becker; S. 37; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

5.2.1 Investitionsrechnung und das statische Verfahren

Die Einfachheit und kostengünstige Ausführung des statischen Verfahrens, finden in vielen Unternehmen noch Anklang.

Man kann dabei in vier Varianten unterscheiden:

- Kostenvergleichsrechnung
- Gewinnvergleichsrechnung
- Rentabilitätsvergleichsrechnung
- Amortisationsrechnung⁹³

Die oben beschriebenen Rechnungsarten sind statische Variante, da Zahlungsströme durchschnittlich innerhalb einer Periode berücksichtigt werden.

5.2.2 Kostenvergleichsrechnung

Bei der Kostenvergleichsrechnung werden mehrere Investitionsobjekte verglichen und es gilt die kostengünstigste Variante zu ermitteln.

5.2.2.1 Kostenkomponenten und Kostenermittlung

Alle Kosten die ein Investitionsobjekt verursacht fließen in die Berechnung ein. Erlöse bleiben unberücksichtigt, unter der Annahme, dass diese in ihrer Höhe gleichbleibend sind.

*„Unter einem **Erlös** wird jener Betrag bezeichnet, der für Güter, Waren, Dienstleistungen oder Verwendung von einem Gut ins Unternehmen bzw. dem Inhaber zurückfließt. Mit „Verwendung“ ist vor allem an Miete, Leasing und Pacht zu denken.“⁹⁴*

Zur Kostenvergleichsrechnung können alle Kostenarten, variabel oder fix, wesentlich sein:

- Kalkulatorische Abschreibungen
- kalkulatorische Zinsen
- Löhne, Gehälter sowie Nebenkosten
- Material, Energiekosten
- Werkzeugkosten

⁹³ Hans Paul Becker; S. 41; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

⁹⁴ siehe: <http://www.rechnungswesen-verstehen.de/lexikon/erloese.php> 07.06.2015

- Raumkosten
- Instandhaltungs- und Reparaturkosten⁹⁵

5.2.2.1.1 Kalkulatorische Abschreibung

Die kalkulatorische Abschreibung beschreibt den periodischen Verbrauch eines investierten Gutes z.B. einer Maschine über die Nutzungsdauer. Kostet der Tausch und Neubau einer Zellenradschleuse der Zementförderung von der ZM 4, ohne Verdichter, €79.200.- und rechnet man mit einer Nutzungsdauer von 30 Jahren, ergibt sich eine jährliche lineare Abschreibung von €2.640.-. Voraussetzung ist, dass der Anschaffungswert A_0 dem Wiederbeschaffungswert entspricht. Durch Annahme, die Maschine hat am Ende der Nutzungsdauer noch einen Liquidationserlös (oder auch Resterlöswert), gilt die kalkulatorische Abschreibung: ⁹⁶

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = (A_0 - L_n) / n$$

A_0 = Anschaffungskosten

L_n = Liquidationserlös am Ende der Nutzungsdauer

n = Nutzungsdauer

Anwendungsbeispiel: Kauft ein Betrieb eine Maschine um €80.000.- und soll nach 7 Jahren um €10.000.- verkauft werden, bedeutet dies eine jährliche kalkulatorische Abschreibung von: €10.000.-⁹⁷

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = (80.000 - 10.000) / 7 = \underline{10.000}$$

5.2.2.1.2 Kalkulatorische Zinsen

Diese werden aus der Multiplikation von kalkulatorischem Zinssatz und dem durchschnittlichen Kapital errechnet.

kalkulatorische Zinsen= Zinssatz x gebundenes Kapital

Ist ein Projekt geplant, muss vor der Durchführung der Investitionsrechnung, der Zinssatz festgelegt werden, der mindestens vom Investitionsobjekt gefordert wird. Mit dieser Mindestanforderung wird das Projekt durchgearbeitet und abgeschätzt. Dieser Zinssatz heißt Kalkulationszinssatz oder Kalkulationszinsfuß.

⁹⁵ Hans Paul Becker; S. 42; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

⁹⁶ Hans Paul Becker; S. 42; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

⁹⁷ Hans Paul Becker; S. 42; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

„Definition: Der Kalkulationszinssatz ist die subjektive Mindestverzinsungsanforderung des Investors an sein Investitionsobjekt.“⁹⁸

Der kalkulatorische Zinssatz ist abhängig, ob Investitionen mit Eigenkapital, oder zusätzlich mit Fremdkapital finanziert wird. Der Zinssatz (i_{EK}), bei reiner Eigenkapitalfinanzierung, ermittelt sich aus dem Zins für risikofreie Anlagen (Basiszinssatz) und einem Risikozuschlag.

Der subjektive Mindestzins (Kalkulationszinssatz, oder Eigenkapitalzinssatz), darf niemals kleiner sein als der Basiszinssatz, einer bestimmten Kapitalmarktanlage.

Der Kalkulationszinssatz darf nicht mit dem Kapitalmarktzinssatz verwechselt werden. Der Habenzins am Kapitalmarkt stellt die Untergrenze für den Kalkulationszinssatz dar.⁹⁹

Man setzt den Kalkulationszinssatz in der Regel etwas höher an, als den Marktzinssatz, da das Unternehmen ein Risiko bei der Investition eingeht. Zahlungsfluss, Nutzungsdauer und Restwert sind unsichere Faktoren. Je größer das Risiko, desto höher wird der Faktor des Kalkulationszinssatzes angesetzt.¹⁰⁰

$$i_{EK} = \text{Basiszinssatz} + \text{Risikozuschlag}^{101}$$

Stammt das Kapital vollständig von einer Fremdfinanzierung, orientiert sich die Mindestverzinsung am Marktkapitalzinssatz. Dieser kann nicht kleiner sein, als den der Investor für die Überlassung des Fremdkapitals zahlen muss.¹⁰²

Erfolgt die Finanzierung über Eigen- und Fremdkapital, wird der Zinssatz (i) über den durchschnittlichen Kapitalkostensatz aus Eigen- und Fremdvermögen errechnet.

Die steuerliche Abzugsfähigkeit des Fremdkapitalzinses wird durch den Faktor $(1-s)$ berücksichtigt.

$$i = i_{EK} \cdot (EK/GK) + i_{FK} \cdot (1-s) \cdot (FK/GK)^{103}$$

i = kalkulatorischer Zinssatz

i_{EK} = Eigenkapitalzinssatz

i_{FK} = Fremdkapitalzinssatz

⁹⁸ Däumler Grabe; S. 34; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

⁹⁹ E. Schneider; S. 68; Wirtschaftlichkeitsrechnung ; Theorie der Investition, 8. Auflage, Tübingen

¹⁰⁰ E. Schneider; S. 68; Wirtschaftlichkeitsrechnung ; Theorie der Investition, 8. Auflage, Tübingen

¹⁰¹ Hans Paul Becker; S. 43; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹⁰² E. Schneider; S. 68; Wirtschaftlichkeitsrechnung ; Theorie der Investition, 8. Auflage, Tübingen

¹⁰³ Hans Paul Becker; S. 43; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

5.2.2.2 Auswahl von Investitionsprojekten

Anhand der Auswahlmöglichkeiten von potenziellen Investitionen, ist es das Ziel, die kostengünstigste Entscheidung zu fällen. Dabei ist die o.a. Methode zur Ermittlung der Periodenkosten, Gegenstand für den Vergleich.

Bei Durchschnittswerten muss zwischen echten und unechten Durchschnittskosten unterschieden werden. Bei echten Durchschnittskosten ergeben sich die über die gesamte Nutzungsdauer anfallenden durchschnittlichen Kosten. Hingegen werden bei den unechten Durchschnittskosten, die anfallenden Kosten der ersten Periode über die gesamte Nutzungsdauer weitergeführt. Das Ergebnis wird jedoch verzerrt, wenn sich die Entwicklung der Kosten, nach Ablauf der ersten Periode zu ändern beginnt.¹⁰⁶

5.2.2.3 Ersatz von Investitionsobjekten

Begrenzte Nutzungsdauer führt zum Ersatzzeitpunktproblem. Wann ist es sinnvoll einen kostengünstigen Ersatz einzusetzen? Hierbei kann diese Entscheidung auch über die Auswahl der Perioden- oder Stückkosten getroffen werden.

Ausschlaggebend hierfür kann sein, wie weit die Kapitalkosten in Betracht gezogen werden. Unter Kapitalkosten fallen die kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen.

Da bei zukünftigen Investitionen anfallende Kosten zu eruieren sind, ist es sinnvoll Betriebskosten des bestehenden Objektes mit den Betriebs- und Kapitalkosten des Ersatzobjekts gegenüberzustellen. Zu den Betriebskosten zählen Materialkosten, Löhne usw.

Der passable Austausch ist zu dem Zeitpunkt, wenn die Betriebskosten der z.B. bestehenden Anlage höher sind, als Betriebs- und Kapitalkosten der neu geplanten Anlage.

Man unterscheidet zwei Fälle für das Ersatzproblem:

„Das zur Disposition stehende Investitionsobjekt weist keinen Liquidationswert auf.“

„Das zur Disposition stehende Investitionsobjekt weist einen Liquidationswert auf.“¹⁰⁷

Häufig tritt der Fall ein, dass das Bestandsobjekt einen Restwerterlös aufweist. Bei weiterer Nutzung würde der Liquidationswert sinken und ist somit in der kalkulatorischen Abschreibung zu berücksichtigen, sowie auch die kalkulatorischen Zinsen.

Der Resterlös des Bestandsobjektes kann als Verringerung der Anschaffungskosten der Neuinvestition verwendet werden, dadurch verringern sich die kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen.

¹⁰⁶ Hans Paul Becker; S. 45; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹⁰⁷ Hans Paul Becker; S. 46; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

5.2.2.4 Beurteilung Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung ist ein relativ einfaches Verfahren. Aus diesem Grund wird es aber in der Praxis zur Vorkalkulation von Investitionen angewandt. Es kommt zu einer Grobabschätzung der vergleichbaren Objekte und deren Vorteilhaftigkeit.

Jedoch gibt es auch deutliche Nachteile, welche da wären:

- Betrachtet werden Durchschnittskosten, zeitlich unterschiedliche Kostenanfälle und deren Größen werden nicht berücksichtigt. Dieser Fall tritt bei unechten Durchschnittskosten ein.
- Kapazitäten und Qualitäten der Leistungen sind ebenfalls unberücksichtigte Faktoren
- Vergleicht wird bei dieser Methode nur die Wirtschaftlichkeit und nicht die Erlöse und Rentabilität.

*„Definition: **Rentabilität** ist der Quotient von Gewinn und Kapital. Oder: Rentabilität ist das Verhältnis des Gewinnes, des Gewinnzuwachses oder der Kostenabnahme zu jenem Kapital, das eingesetzt werden muss, um einen der genannten Effekte zu erzielen.“¹⁰⁸*

5.2.3 Gewinnvergleichsrechnung

Die bloße Kostenvergleichsrechnung hat wenig Aussagekraft, für die wirkliche Entscheidung von Investitionsobjekten. Unterschiedliche Erlöse die dabei entstehen können werden mit der Gewinnvergleichsrechnung berücksichtigt. Sie ist sozusagen die Erweiterung der Kostenvergleichsrechnung, da nicht nur gleiche Absatzpreise angenommen werden, sondern auch die Qualitätsunterschiede Leistungsträgern (Produkten).

Dabei unterscheidet man:

- a) isolierter Vergleich

Die Differenz zwischen Erlösen und Kosten einer Periode, stellt den Gewinn dar. Dieser wird für die geplante Investitionsdauer geschätzt und per Periode als Durchschnittsgewinn ermittelt.

Anbei ein Beispiel dazu: Ein Unternehmen muss eine Maschine anschaffen, Erlöse und Kosten für die Nutzungsdauer werden geschätzt.

¹⁰⁸ G. Seicht, Investition und Finanzierung, S. 34

Jahr	Erlöse	Kosten
1	350.000	280.000
2	400.000	300.000
3	450.000	340.000
4	400.000	480.000
Durchschnitt pro Jahr	400.000	350.000

Für die Maschine ergibt sich ein durchschnittlicher Jahresgewinn von 50.000 €.

Abbildung 22: Bsp: Ermittlung durchschnittlicher Periodengewinn¹⁰⁹

Als durchschnittlicher Gewinn, kann der Gewinn der ersten Periode über die Nutzungsdauer verwendet werden, oder die einzelnen durchschnittlichen Jahresgewinne über die Nutzungsdauer. Die Summe aus Erlös und Kosten gerechnet über die Nutzungsdauer ergibt, im Mittel, den Gewinn einer Investition.

$$G = \frac{\sum_{t=1}^n (E_t - K_t)}{n}$$

G = Jahresgewinn

E_t = Erlöse im Jahr t

K_t = Kosten im Jahr t

n = Nutzungsdauer

Daraus ergibt sich, dass das Objekt mit dem höchsten mittleren Gewinn, als vorteilhafteste Investition darstellt.

b) Differenzbetrachtung

Können Erlöse und Kosten nicht genau einer Ware, Produkt oder Fabrikat zugeordnet werden, kann eine Gegenüberstellung von Gesamterlös und Gesamtkosten, bei Verzicht und Realisierung hilfreich sein. Wird eine Anschaffung realisiert und es tritt eine Gewinnerhöhung am Ende einer Periode auf, ist diese vorteilhaft.

5.2.3.1 Beurteilung der Gewinnvergleichsrechnung

Dieses Verfahren ist im Wesentlichen eine einfache Methode, ebenfalls werden Erlöse, sowie Qualitätsunterschiede von Produkten, Gütern usw., und die Wirtschaftlichkeit der Neuanschaffung, berücksichtigt.

Die Gewinnvergleichsrechnung eignet sich bei Erweiterungsinvestitionen.

¹⁰⁹ Hans Paul Becker; S. 52; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

Wie bei allen statischen Verfahren, ist auch hier die Thematik, dass nur eine durchschnittliche, zeitliche Periode betrachtet wird. Der Zeitpunkt von tatsächlichen Zahlungsströmen, bzw. von zeitlich auftretenden Überschüssen, ist nicht bekannt. Aussagen über die Verzinsung, über das eingesetzte Kapital sind nicht möglich. Es lässt sich daraus nicht feststellen, ob eine alternative Verzinsung des in Anspruch gesetzten Kapitals, z.B. in eine Anleihe, gerechtfertigt ist.¹¹⁰

weitere Nachteile sind:

- unzweckmäßige Rechnungselemente
- keine finanzmathematische Basis

Die Gewinnvergleichsrechnung wird in der Praxis bei Unternehmungen, eher selten verwendet, trotz umfassender Anwendungsbreite zur Kostenvergleichsrechnung.

5.2.4 Rentabilitätsvergleichsrechnung

Eine aussagekräftigere Form der statischen Investitionsrechenmethoden, stellt die Rentabilitätsvergleichsrechnung dar. Die Rentabilität wird ermittelt aufgrund Jahresgewinns, welches im Verhältnis zum eingesetzten Kapital steht. Somit zeigt das Ergebnis, prozentual, die Verzinsung des gebundenen Kapitals.

Die Netto-, oder die Bruttorendite kann im Rahmend der Rentabilitätsvergleichsrechnung ermittelt werden. Die Nettorendite erhält man aus dem Durchschnittsgewinn über das durchschnittlich gebundene Kapital.

$$R_N = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Gebundenes Kapital}} \quad 111$$

R_N = Nettorendite

Die Bruttorendite (R_B) beinhaltet noch zusätzlich zum Gewinn, die kalkulatorischen Zinsen. Um diesen Faktor ist auch die Bruttorendite höher als die Nettorendite.

$$R_B = \frac{\text{Gewinn} + \text{Kalkulatorische Zinsen}}{\text{Gebundenes Kapital}} \quad 112$$

R_B = Bruttorendite

¹¹⁰ Hans Paul Becker; S. 53; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹¹¹ Hans Paul Becker; S. 54; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹¹² Hans Paul Becker; S. 54; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

Den Zuschlag für die Investition erhält jenes Projekt, das die größte Rentabilität aufweist. Dabei können unterschiedliche Rentabilitätsgrößen ermittelt werden, je nach Definition der Begriffe Gewinn und Kapitaleinsatz.

Bei mehreren Auswahlmöglichkeiten kann ein minimaler Rentabilitätswert vorgegeben werden. Die Mindestrentabilität ist ein subjektiver, vom Unternehmen vorgegebener Wert, und hilft beim Vergleich der Rentabilitäten.

Bei einem Ersatzproblem wird jenes Objekt ausgeführt, dessen Minderkosten eine entsprechende Rentabilität des Kapitaleinsatzes aufweist.¹¹³

5.2.4.1.1 Kapitaleinsatz und Rentabilität

Die zur Berechnung der Rentabilität eingesetzte Höhe des Kapitaleinsatzes, führt oft zu Problemen. Es gibt folgende Methoden:

- Kapitaleinsatz in Höhe der vollen Anschaffungskosten: Meist geben Unternehmen die vollen Investitionszahlungen als Kapitaleinsatz an. Das ist so nicht ganz korrekt, da nicht die durchschnittliche Verzinsung, sondern die Verzinsung des ersten Nutzungsjahres der Rentabilität ermittelt wird.
- Kapitaleinsatz als Hälfte der Anschaffungskosten: Ist ein sinnvoller Lösungsansatz, wenn das Objekt eine lineare Abschreibung hat und der Restwert am Ende der Nutzungsdauer Null ist. Bei einem bleibenden Restwert ist das gebundene Kapital höher als die halben Anschaffungskosten.
- Kapitaleinsatz entspricht dem Restwert: Wird der Kapitaleinsatz in Höhe des Restwertes pro Periode eingesetzt, ergeben sich steigende Jahresrentabilitäten. Der Restwert ist von Jahr zu Jahr fallend. Aus allen errechneten Rentabilitäten kann dann eine Durchschnittsrentabilität kalkuliert werden.¹¹⁴

5.2.4.1.2 Kritik an der Rentabilitätsrechnung

In der Praxis wird meist eine Methode, zur Erlangung des Kapitaleinsatzes, auf Investitionsvorhaben angewendet. Meist wird mit dem halben durchschnittlich gebundenen Kapital gerechnet. Ein Risiko des Fehlers von mehreren Prozent kann dabei auftreten. Auch wenn der Einzelfall und das mittlere gebundene Kapital richtig ermittelt wurden, ist diese Methode nur eine grobe Annäherung, an die tatsächliche verzinsten Kapitalbasis.

¹¹³ Däumler Grabe; S. 195; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

¹¹⁴ Hans Blohm/ Klaus Lüder; S. 168; Investition: Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung ; Verlag Vahlers Handbücher; 10. Auflage

Der Begriff „Gewinn“ kann unterschiedlich interpretiert werden. Strittig ist die Berücksichtigung der kalkulatorischen Zinsen und Abschreibungen. Ein konstanter durchschnittlicher Gewinn bei Großinvestitionen ist in der Regel nicht der Fall. Gravierende Fehlentscheidungen bei Investitionsobjekten können passieren, wenn deren Gewinn in unterschiedliche Richtungen verläuft. Will man diese Kriterien berücksichtigen, ist eine bessere Variante der interne Zinssatz. Zahlungen werden zeitlich korrekt erfasst und die richtigen Rechnungselemente liegen zugrunde. ¹¹⁵

5.2.5 Amortisationsrechnung

Auch Kapitalrückfluss-, Pay- Off- oder Pay- Back- Methode, genannt, bewertet den Zeitraum, in dem Kapitaleinsatz einer Investition, aus künftigen Zahlungsüberschüssen wieder zurück ins Unternehmen fließt. Der Kapitaleinsatz entspricht den Anschaffungskosten vermindert um den Liquidationserlös. Überschüsse ergeben sich aus der Differenz zwischen Ein- und Auszahlungen.

Als Entscheidungsgrundlage gilt, die Investition mit der niedrigsten Amortisationsdauer wird ausgeführt. Einzelinvestitionen sind dann am vorteilhaftesten, wenn die Amortisationsdauer, unter der vom Auftraggeber angeführten Zeitspanne, liegt.

Durch die Ermittlung der Amortisation, wird das Risiko von Kapitalverlust und Liquiditätsauswirkung der Anschaffung, beurteilt. ¹¹⁶

Die Rechnung kann auf zwei Arten durchgeführt werden:

5.2.5.1.1 Durchschnittsrechnung

Der Geldeinsatz wird durch den durchschnittlichen Rückfluss pro Zeiteinheit, meist ein Jahr, dividiert. Zu den Rückflüssen zählen die Einzahlungen weniger den Ausgaben. Die Amortisationsrechnung enthält Größen, wie Erlöse, Kosten und Gewinne. Der jährliche Rückfluss errechnet sich aus dem Gewinn und den Abschreibungen des Objektes.

Das gelangt zu dem Ergebnis, dass man die Zeitdauer erhält, in welcher der Kapitaleinsatz, über die Gewinne der Perioden und Abschreibungen, zurückfließt.

$$\text{Amortisationszeit (Jahre) } t_{AM} = \frac{\text{Anschaffungskosten [€]}}{\text{Durchschnittlicher Kapitalrückfluss} \left[\frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right]} \quad 117$$

¹¹⁵ Däumler Grabe; S. 203; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

¹¹⁶ Hans Paul Becker; S. 55; Investition und Finanzierung.; Verlag Springer Gabler 2013

¹¹⁷ Heinz Kußmaul; S. 200; Betriebswirtschaft für Existenzgründer; Verlag Oldenbourg 2008; 6. Auflage

Amortisationsdauer $AD = (A_0 - L_n) / (\text{Gewinn} - \text{Abschreibungen})$ ¹¹⁸

A_0 = ursprüngliches Kapital

L_n = Liquidationserlös

Anbei ein Beispiel:

Beispiel: Amortisationsrechnung als Durchschnittsrechnung		
	Investition A	Investition B
Anschaffungskosten in €	100.000	140.000
Nutzungsdauer in Jahren	8	10
Kalkulatorische Abschreibung in € pro Jahr	12.500	14.000
Durchschnittlicher Gewinn in € pro Jahr	7.500	21.000
Durchschnittlicher Rückfluss in € pro Jahr	20.000	35.000
Amortisationsdauer in Jahren	5	4

Abbildung 23: Bsp: Ermittlung Amortisationsdauer¹¹⁹

In dieser Abbildung 23 ist zu erkennen, dass die *Investition B*, vorteilhafter ist, als *Investition A*.

5.2.5.1.2 Totalrechnung

Totalrechnung, auch als Kumulationsrechnung bekannt, werden nicht mehr die Jahresdurchschnittswerte betrachtet, sondern es werden die Rückflüsse pro Jahr so lange addiert, bis diese die Summe des Kapitaleinsatzes erreicht hat.

*„Die statische Amortisationszeit ist die Zeit, bei der die Gesamtsumme aller Ein- und Auszahlungen inklusive Restwert und Anschaffungsauszahlung gerade gleich Null ist.“*¹²⁰

Im folgenden Beispiel wird ein Kapitaleinsatz von €100.000.- angenommen:

¹¹⁸ Hans Paul Becker; S. 55; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹¹⁹ Hans Paul Becker; S. 55; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹²⁰ Däumler Grabe; S. 215; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

Jahr	Gewinn	Abschreibung	Rückfluss	Rückfluss kumulativ
1	4.000	12.500	16.500	16.500
2	5.000	12.500	17.500	34.000
3	6.500	12.500	19.000	53.000
4	8.500	12.500	21.000	74.000
5	8.500	12.500	21.000	95.000
6	9.500	12.500	22.000	117.000
7	9.500	12.500	22.000	139.000
8	8.500	12.500	21.000	160.000

Abbildung 24: Bsp: Ermittlung Amortisationsdauer kumulativ¹²¹

Aus diesem Beispiel ist abzulesen, dass sich die Anschaffung, ab dem sechsten Jahr amortisiert. Ist die Amortisationsdauer unterhalb, der vom Entscheidungsträger geforderten Jahr, gilt die Investition als Vorteilhaft.

5.2.5.1.3 Vor- und Nachteil dieser Anwendung

Die Amortisationsrechnung ist zusätzlich zur Investitionsrechnung, für die Analyse von Risiko und Liquidität, ein brauchbares Werkzeug. Sie sollte jedoch mit der dynamischen Anwendung noch ergänzt werden. Vorzugsweise sollte das kumulatorische Verfahren angewandt werden, da unregelmäßige Zahlungsflüsse berücksichtigt werden. In der Praxis wird aber oftmals die Durchschnittsrechnung bevorzugt.¹²²

Es ist ein einfaches Verfahren als Grobeinschätzung, zur Beurteilung des Investitionsobjektes und dessen Risiko. Die verwendeten Daten zur Kalkulation sind aber auch wichtige Informationsträger zur Hilfe der Finanzplanung. Das Unternehmen erlangt einen Überblick, ob aufgenommene Kredite wieder durch zu erwartende Rückflüsse getilgt werden.

Nachteile:

Das Verfahren bestimmt nur den voraussichtlichen Zeitpunkt, an dem Rückflüsse die Anschaffungskosten amortisieren. Die Wirtschaftlichkeit bleibt dabei unbeachtet. Ebenfalls ungeachtet ist die Zeit nach der Amortisation, Wertänderungen der Investition fließen nicht in die Kalkulation ein. Dabei kann es passieren, dass kurzfristige Anschaffungen, den langfristigen bevorzugt werden.

Da nur Teilaspekte für einen Neuerwerb betrachtet werden, sollten mehrere Investitionsrechenmethoden herangezogen werden.¹²³

¹²¹ Hans Paul Becker; S. 56; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

¹²² Däumler Grabe; S. 218; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

¹²³ Hans Paul Becker; S. 57; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

Ein Betrieb der alleine sich auf das Ergebnis der Amortisationsvergleichsrechnung stützt, geht das Risiko von Fehlentscheidungen ein.

Eine Investition kann auch unvorteilhaft sein, wenn der Kapitalrückfluss unter der maximal zulässigen Amortisationszeit liegt.

Zwei Investitionsobjekte mit der gleichen Amortisationsdauer und der gleichen Vorteilhaftigkeit anhand dieses Verfahrens, weisen in anderen Bereichen unterschiedliche Pro und Contra Argumente auf.¹²⁴

5.2.6 Resümee des statischen Verfahrens

Das statische Verfahren der Investitionsrechnung ist charakteristisch für seine Betrachtungsweise, über eine Periode. Ergebnisse der ersten Periode werden für den Verlauf der gesamten Nutzungsdauer angewandt. Dazu kann es zu ungenauen Resultaten der Kosten bzw. der Erlöse, über den gesamten Zeitverlauf kommen.

Zeitpunkte der Zahlungsflüsse sind nicht erkennbar, da Durchschnittswerte pro Periode zur Kalkulation herangezogen werden. Auch Einflüsse wie die Inflation bleiben unberücksichtigt. Dieselbe Summe eines Betrages ist heute mehr wert, als in einem Jahr.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass das statische Verfahren relativ einfach anzuwenden ist, jedoch keine Rücksicht auf zeitlich Ein- und Auszahlungen nimmt.

Statische Verfahren haben nur eine begrenzte Aussagekraft und können dann eingesetzt werden wenn:

- ein geringer Investitionswert anliegt
- eine grobe und schnelle Abschätzung notwendig ist
- ungenaue und unsichere Daten vorhanden sind, und ein genaues Verfahren dadurch nicht möglich ist.¹²⁵

¹²⁴ Däumler Grabe; S. 219; Verlag NWB GmbH & Co KG 2014

¹²⁵ Hans Paul Becker; S. 58; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

6 Investitionsrechnung anhand einer Zementförderanlage

6.1 Allgemeines

Anhand einer Neuauslegung und Dimensionierung der bereits bestehenden Zementförderanlagen sollen Betriebs- Instandhaltungs- und Produktionskosten von 1to Zement pro Stunde um einen wesentlichen Teil verringert werden. Durch die Modernisierung und Austausch von einer Schneckenpumpe (ZM4) und eines Druckgefäßes „Pneumex“ (ZM5), sowie die Investition in die jeweilige Druckluftversorgung, kann dies ermöglicht werden. Die Firma „*Thyssen Krupp Resource Technologies*“ hat bereits im Vorfeld dieser Arbeit Rechnungen durchgeführt und kam zu folgendem Ergebnis:

Kostenersparnis für die Zementförderung von ZMS4: €19.740.-. pro Jahr

Kostenersparnis für die Zementförderung von ZMS5: €41.000.- pro Jahr

Im nachfolgenden Kapitel wird erläutert wie diese Beträge zustande kommen und in welchen Bereichen die Einsparungspotentiale liegen.

6.2 Investitionsrechnung Zementmühle 4

6.2.1 Kostenaufstellung

Zur Belieferung der Zementsilos von der Zementmühle 4 ist derzeit eine Schneckenpumpe im Einsatz. Die elektrische Antriebsleistung der Schneckenpumpe beträgt 75kW. Im Normalbetrieb benötigt diese 50kW. Diese ist durchschnittlich 300 Tage im Jahr, zu je 20 Stunden in Betrieb. Bei einem Strompreis von €0,16.- ergibt dies Energiekosten von €48.000.-.

Laufzeit der ZM 4: 20Std. pro Tag
 300 Tage pro Jahr

Leistung des Motors bei Normalbetrieb:	50kW
Energiekosten Strom:	0,16Eur pro kWh
Energiekosten Schneckenpumpe:	€48.000 pro Jahr

Energiekosten Kolbenverdichter: €144.000 pro Jahr¹²⁶
Kosten für Wartung und Instandhaltung pro Jahr der Schneckenpumpe: € 20.000.-

Betriebskosten Schneckenpumpe und Verdichter gesamt pro Jahr: €192.000.-

Betriebskosten Gesamt: ~~€212.000.-~~

Vergleich zu den Neukomponenten:

Daten Zellenradschleuse:

Typ: ZSV-H 630X500

Förderleistung bis max. 65m³/h

Leistung Motor Zellenradschleuse:	3kW
Energiekosten Zellenradschleuse:	€2.880 pro Jahr
Wartungskosten Zellenradschleuse:	€16.000.- pro Jahr

Anschaffungskosten Zellenradschleuse inklusive Umbau auf das neue System:
~~€9.200.-~~¹²⁷

Der Preis bezieht sich aus dem Angebot der Fa. TKRT vom 10.09.2013

Daten Schraubenverdichteraggregat:

Typ: Delta Screw VML 40 R¹²⁸

Motor: 110kW

Energiekosten neuer Schraubenverdichter:	€86.400.- pro Jahr pro Schrauben-
verdichter	

Anschaffungskosten für 2 Stk. Schraubenverdichteraggregate: ~~€29.500.-~~ pro Stück¹²⁹

Der Preis bezieht sich aus dem Angebot der Firma Aerzen Austria Handelsgesellschaft.

Damit ergeben sich für die ZM4, Gesamtanschaffungskosten von €138.200.-

¹²⁶ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

¹²⁷ Angebot Thyssenkrupp Resource Technologies; Angebots Nr.: 17034294; Kennwort: LEUZEM; Herr B. Deventer; Seite 1-5; 13.11.2013

¹²⁸ Angebot Aerzen Austria Handelsgesellschaft; Angebots Nr.: 21300201A; Kennwort: Optimierung Zementförderung; Herr Ewald Mayrl; Seite 1-2; 21.01.2014

¹²⁹ Angebot Aerzen Austria Handelsgesellschaft; Angebots Nr.: 21300201A; Kennwort: Optimierung Zementförderung; Herr Ewald Mayrl; Seite 1-2; 21.01.2014

6.3 Investitionsrechnung für ZM4

Anhand der vorangegangenen Theorie, wird nun mit Hilfe des statischen Verfahrens, die Vorteilhaftigkeit der Investition analysiert.

6.3.1 Kalkulatorische Abschreibung

Die kalkulatorische Abschreibung errechnet sich wie folgt:

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = \frac{\text{Anschaffungskosten} - \text{Liquidationserlös}}{\text{Nutzungsdauer}}$$

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = \frac{138200 - 40000}{20} = 4910.-$$

die kalkulatorische Abschreibung pro Jahr beträgt: € 4910.-

6.3.2 Kalkulatorische Zinsen

Wie man aus dem Theorieteil bereits entnehmen konnte, berechnen sich die kalkulatorischen Zinsen aus dem Kalkulationszinssatz und dem gebundenen Kapital.

Das Zementwerk Leube möchte die Investition zu 2/3 aus Eigenkapital und aus 1/3 Fremdkapital finanzieren. Das bedeutet, dass das Eigenkapital sich auf €92.000.- beläuft und das Fremdkapital auf €46.200.-. Der Zins für Bundesanleihen beträgt 4,8%, und man verwendet einen Risikozuschlag von 5%. (Dieser wird für die Kalkulation von der Firma angenommen). Der Fremdkapitalzinssatz liegt bei 7,5% (ist eine Annahme und ist ein Mittelwert an Erfahrungswertend er Firma)

$$i = i_{EK} * (EK/GK) + i_{FK} * (1-s) * (FK/GK)^{130}$$

i= kalkulatorischer Zinssatz

i_{EK} Eigenkapitalzinssatz= 9,8% i_{EK} = Basiszinssatz + Risikozinssatz= 9,8%

i_{FK} Fremdkapitalzinssatz= 7,5%

EK Eigenkapital= €92.000.-

FK Fremdkapital= €46.200.-

GK= Gesamtkapital (EK+FK) €138.200.-

s= Ertragssteuersatz 25%

daraus folgt:

¹³⁰ Hans Paul Becker; S. 43; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

$$i = 0,095 \left(\frac{92000}{138200} \right) + 0,075 * (1 - 0,25) * \left(\frac{46200}{138200} \right) = 8,4\%$$

$$\text{kalkulatorische Zinsen} = i * \frac{\text{Anschaffungskosten} + \text{Liquidationserlös}}{2}$$

$$\text{kalkulatorische Zinsen} = 0,084 * \frac{132800 + 40000}{2} = \text{€}7484,4$$

6.3.3 Perioden und Gutfkosten (Zement in €/to)

Nicht nur Anschaffungskosten, sondern auch Gutfkosten müssen bei einer Wirtschaftlichkeitsprüfung einer Neuanlage berücksichtigt werden. Werden die Herstellungskosten meiner produzierten Ware geringer? Da es sich bei diesem Projekt um Schüttgut anstatt Stückgut handelt, werden an dieser Stelle die Energiekosten für eine Tonne Zement pro Stunde angeführt. In diesem Fall kann bei der Berechnung nur der tatsächliche Energieaufwand betrachtet werden, da man nur den abschließenden Teil eines komplexen Systems der Zementherstellung betrachtet. Die Neuinvestition dient als Ersatz einer veralteten Förderung und kann somit am besten anhand der zu sparenden Energiemenge gemessen werden.

Die durchschnittlichen Periodenkosten errechnen sich:

$$K = [(A_0 - L_n) / n] + i * [(A_0 + L_n) / 2] + K^{fix} + K^{var}$$

K= durchschnittliche Periodenkosten

A₀= Anschaffungskosten €138.200.-

L_n= Liquidationserlös €40.000.-

n= Nutzungsdauer 20 Jahre

K^{fix}= sonstige Fixkosten €16.000.- (Instandhaltungskosten, Wartungskosten pro Jahr)

K^{var}= variable Kosten €89.280.- (Energiekosten von 1Stk. Kolbenverdichter und einer Zellenradschleuse)

Energiekosten Zellenradschleuse: €2.880 pro Jahr

Energiekosten neuer Schraubenverdichter: €86.400.- pro Jahr pro Schraubenverdichter

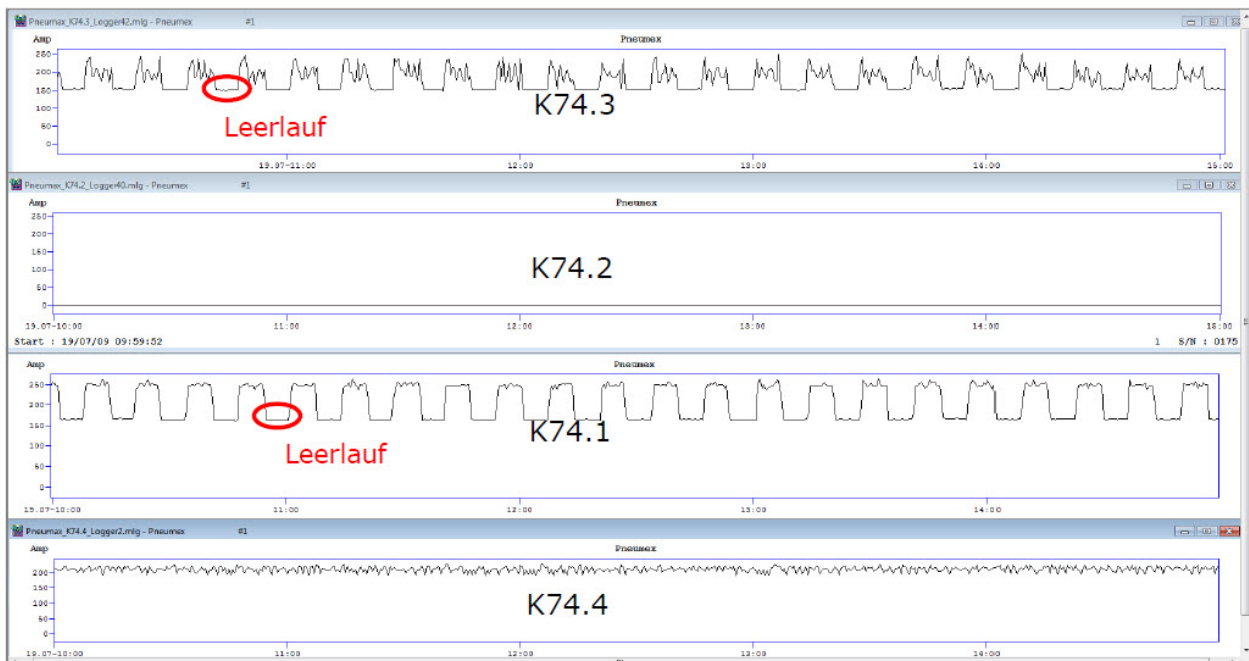
Wartungskosten Zellenradschleuse (fixe Kosten) €16.000.- pro Jahr

Variable Kosten= 2.880 + 86.400 = €89.280.-

Die Kolbenverdichter arbeiten alternierend. Das heißt, der Verdichter füllt den Windkessel mit Luft und Zement kann zu den Silos transportiert werden. Für die nächste Windkesselbefüllung schaltet das System auf den zweiten Verdichter um, dadurch werden die Maschinen abwechselnd betrieben und Füllzeiten des Kessels verringert.

Ebenso von Vorteil ist, die Leerlaufzeiten des Kompressors, in denen zwar Strom gezogen wird, aber keine Druckluft erzeugt wird, verringert sich.

Anbei ein Zyklus des bisherigen Kompressors, zur Erzeugung der benötigten Druckluft.



Strommessung Kompressor Zementförderung (Detailansicht – 5h)

Abbildung 25: Strommessung der Firma Allplan im Zementwerk Leube¹³¹

$$K = \left(\frac{138200 - 40000}{20} \right) + 0,084 * \left(\frac{138200 + 40000}{2} \right) + 16000 + 89280 = € 117.674.-$$

Periodenkosten der Bestandsanlage können nach diesem Verfahren nicht verglichen werden. Die Anlage wurde je nach Anforderung immer wieder erweitert und angepasst. Daher vergleicht man die Energiekosten pro Periode (k).

$$k = \left(\frac{K}{x} \right)$$

k= Stückkosten (€/ to Zement)

K= Periodenkosten

¹³¹ Endbericht Fa. Allplan GmbH AEEP; Schwindgasse 10, 1040 Wien; Bericht von Juni bis September 2009, Verfasser nicht bekannt. PDF- Datei „091103_Allplan_Endbericht_Leube_Energieeffizienz“;

x= Menge (to/ Jahr)

x= 500.000to/Jahr

Energiekosten Schneckenpumpe: €48.000 pro Jahr

Energiekosten Kolbenverdichter: €144.000 pro Jahr¹³²

Kosten für Wartung und Instandhaltung pro Jahr der Schneckenpumpe: € 20.000.-

Bestandsanlage:

Periodenkosten: K= €144.000 + €48.000 + €20.000= €212.000.-

$$k = \frac{212000}{500000} = 0,424 \text{ €/to}$$

Neuanlage:

Periodenkosten K= €117.674,.

$$k = \frac{117674}{500000} = 0,235 \text{ €/to}$$

Dies bedeutet, dass durch die Neuerrichtung der pneumatischen Förderanlage die Energiekosten der Tonne Zement um €0,189.- reduziert werden. Über eine Periode gesehen, können €94.300.- eingespart werden.

Nach Begutachtung dieses Ergebnisses, wäre es sinnvoll das Bestandsobjekt zu ersetzen. Die Anlage würde sich innerhalb von zwei Jahren amortisieren.

Jedoch ist zu beachten, dass Durchschnittswerte für eine Periode in die Kalkulation einfließen. Unvorhersehbare Ereignisse, wie kostenintensive Reparaturen bei größeren Schäden, die dazugehörigen Arbeitsstunden und Löhne, sind schwer abzuschätzen.

Dies betrifft ebenso die kalkulatorischen Zinsen. Dieser wird als Durchschnittswert angenommen und kann sich im Laufe der Nutzungsdauer verändern.

Ebenso wurde hier ein Liquidationserlös von €40.000.- angenommen. Über die lange Nutzungsdauer, kann es passieren, dass Motoren, oder die Zellenradschleuse bereits getauscht werden mussten und nicht mehr den gewünschten Erlös erbringen.

¹³² Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

6.3.4 Auswahl von Investitionen anhand der Energiekosten der ZM4

Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten

Kosten	Investition Alt	Investition Neu
	-	138200
Anschaffungskosten		
Nutzungsdauer in Jahren	30-40	20
Auslastung pro Jahr	500.000	300.000
	-	4910
Kalkulatorische Abschreibung		
Kalkulatorische Zinsen, i=8,4%	-	7.484,40
Sonstige Fixkosten	20.000	16.000
Summe Fixkosten	20.000	28394,4
	192.000	89.280
Energiekosten		
Sonstige variable Kosten	-	-
Summe variabler Kosten	192.000	89.280
	212.000	117.674,4
Gesamtkosten pro Jahr		
Gesamtkosten pro Tonne Zement	0,424	0,235

Tabelle Error! No text of specified style in document.-1: Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten

Wie man anhand der Tabelle erkennen kann, würde sich die Neuanschaffung der pneumatischen Förderanlage selbst dann positiv auswirken, wenn man in einer Periode um 200.000t bis weniger Zement (also nur 300.000t/Jahr) produziert, aber die Betriebsstunden gleich setzt.

Die Schwierigkeit bei diesem Verfahren liegt darin, keine genauen Daten der Bestandsanlage zu kennen. Diese wurde nach Jahren immer wieder erweitert und umgebaut.

Durch den Zubau von Silos, Rohrleitungen, größere Maschinen kann keine Angabe über die Anschaffungskosten und somit über die Abschreibung getätigt werden.

Daher ist es sinnvoll die laufenden Betriebskosten der bestehenden Anlage mit der neuen zu vergleichen. Nicht nur die Energiekosten auf die Tonne Zement stehen im Fokus, auch die Frage in welchem Zeitraum sich die Anlage amortisiert.

6.3.5 Amortisationsrechnung ZM4

Ein Verfahren, das für dieses Projekt die interessanteste Methode ist, um sicher zu stellen, in welchem Zeitraum die Investition ihren Kapitalrückfluss erlangt. Je kürzer die Amortisationsdauer, umso vorteilhafter wird die Investition bewertet.

Die Amortisationsdauer kalkuliert sich:

$$AD = \frac{A_0 - L_n}{\text{Gewinn} + \text{Abschreibung}}$$

A_0 = ursprüngliches Kapital, Anschaffungskosten

L_n = Liquidationserlös

$$AD = \frac{138200 - 40000}{94300 + 4210} = 0,989 \text{ Jahre}$$

Wie bereits in Punkt 3.3.3 erwähnt, amortisiert sich die Anlage rasch und innerhalb eines Jahres. Dies bestätigt die Ergebnisse der vorangegangenen Kalkulationsmethoden.

Auch hier wurden nur Durchschnittswerte zur Ermittlung der Amortisationsdauer verwendet, daher auch Durchschnittsrechnung genannt.

Doch nicht nur die Durchschnittsrechnung kann hier verwendet werden. Auch die Totalrechnung zeigt eine Auflistung der Kosten und eine Gegenüberstellung von zwei Investitionsobjekten.

Anhand einer totalen Periode werden Rückflüsse so lange addiert, bis die Höhe des Kapitaleinsatzes erreicht ist. Anhand der folgenden Tabelle lässt sich folgendes beobachten:

Jahr	Gewinn	Abschreibung	Rückfluss	Rückfluss kumulativ
1	94.300	4.910	99.210	99.210
2	94.300	4.910	99.210	99.210
3	94.300	4.910	99.210	99.210

Tabelle Error! No text of specified style in document.-2: Kumulative Abschreibung der Zementförderanlage ZM4

Der Umbau der Zementförderanlage bei ZM4 amortisiert sich bereits nach 2 Jahren. Die Gesamtanschaffungskosten betragen €138.200.-. Das eingesetzte Eigenkapital €92.000.-. Aus dieser Sicht wäre die Investition absolut von Vorteil.

Hier wurde angenommen, dass der Gewinn und der Rückfluss über drei Perioden gleich bleibt. Durch die rasche Amortisation ist es wahrscheinlich, dass dies auch der Fall ist und keine zusätzlichen Kosten für Reparaturen anfallen. Auch sind Stillstandszeiten, die einen Produktionsstopp verursachen können, nicht in dieser Tabelle mit einkalkuliert.

Die Einfachheit dieses Verfahrens, zeigt in einem raschen Verfahren, dass Kredite, innerhalb kürzester Zeit getilgt werden können.

Klar abzulesen ist auch, dass nur ein Amortisationszeitpunkt und nicht die tatsächliche Wirtschaftlichkeit der Anlage, in diesem Verfahren dargestellt wird.

6.4 Investitionsrechnung für ZM5

6.4.1 Kostenaufstellung ZM5

Zur Belieferung der Zementsilos von der Zementmühle 5, gelangt das Material von einem Vorbehälter in das Druckgefäß. Danach wird der Pneumex von Kolbenkompressoren, über einen Windkessel, mit Druckluft gefüllt. Die Absperrklappe zur Druckleitung öffnet sich und der Zement wird in die Silos befördert. Nach dem Ausblasen des Gutes, öffnet

sich die Absperrung zu dem Vorbehälter wieder und das Material fällt in den Pneumex. Dies wird ständig wiederholt, jedoch ist der Vorgang diskontinuierlich.

Technische Daten:

Die Kolbenverdichter benötigen im Normalbetrieb eine Leistung von 153kW. Diese sind durchschnittlich 300 Tage im Jahr, zu je 20 Stunden in Betrieb. Bei einem Strompreis von €0,16.- ergibt dies Energiekosten von €124.800.-.

Laufzeit der ZM 5 20Std. pro Tag
 300 Tage pro Jahr

Leistung des Motors bei Normalbetrieb: 153kW
Energiekosten Strom: 0,16Eur pro kWh
Energiekosten Kolbenverdichter: €146.880 pro Jahr¹³³

Betriebskosten Verdichter gesamt pro Jahr: €146.880.-

Vergleich zu den Neukomponenten:

Daten Zellenradschleuse

Typ: *ZSV-H 700x700*

Leistung Motor Zellenradschleuse: 5,5kW
Energiekosten Zellenradschleuse: €5.280 pro Jahr
Energiekosten neuer Schraubenverdichter: €86.400.- pro Jahr pro Schrauben-
verdichter
Wartungskosten Zellenradschleuse: €26.700.- pro Jahr

**Anschaffungskosten Zellenradschleuse inklusive Umbau auf das neue System:
€113.000.-¹³⁴**

Der Preis bezieht sich aus dem Angebot der Fa. TKRT vom 10.09.2013

Daten Schraubenverdichter:

Typ: *Delta Screw VML 40 R*¹³⁵
Motor: 110kW

¹³³ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

¹³⁴ Angebot Thyssenkrupp Resource Technologies; Angebots Nr.: 17034397; Kennwort: LEUZEM; Herr B. Deventer; Seite 1-4; 13.11.2013

¹³⁵ Angebot Aerzen Austria Handelsgesellschaft; Angebots Nr.: 21300201A; Kennwort: Optimierung Zementförderung; Herr Ewald Mayrl; Seite 1-2; 21.01.2014

Anschaffungskosten für 2 Stk. Schraubenverdichteraggregate: **€29.500.- pro Stück**¹³⁶
 Der Preis bezieht sich aus dem Angebot der Firma Aerzen Austria Handelsgesellschaft.

Damit ergeben sich für die ZM4 Gesamtanschaffungskosten von **€172.200.-**

6.4.2 Kalkulatorische Abschreibung

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = \frac{\text{Anschaffungskosten} - \text{Liquidationserlös}}{\text{Nutzungsdauer}}$$

$$\text{kalkulatorische Abschreibung} = \frac{172200 - 30000}{20} = 7110$$

6.4.3 Kalkulatorische Zinsen

Wie auch bei der Kalkulation der kalkulatorischen Zinsen der ZM4, wird folgendes angenommen:

Die Firma Zementwerk Leube GmbH finanziert die Investition mit 2/3 Eigenkapital und 1/3 Fremdkapital. Das bedeutet, dass das Eigenkapital sich auf €114.800.- beläuft und das Fremdkapital auf €57.400.-. Der Zins für Bundesanleihen beträgt 4,8%, und der Risikozuschlag 5%. (Dieser wird für die Kalkulation von der Firma angenommen). Der Fremdkapitalzinssatz liegt bei 7,5% (ist eine Annahme und ist ein Mittelwert an Erfahrungswert der Firma).

$$i = i_{EK} \cdot (EK/GK) + i_{FK} \cdot (1-s) \cdot (FK/GK)^{137}$$

i=	kalkulatorischer Zinssatz	
i _{EK}	Eigenkapitalzinssatz=	9,8% i _{EK} = Basiszinssatz + Risikozinssatz= 9,8%
i _{FK}	Fremdkapitalzinssatz=	7,5%
EK	Eigenkapital=	€114.800.-
FK	Fremdkapital=	€57.400.-
GK=	Gesamtkapital (EK+FK)	€172.200.-
s=	Ertragssteuersatz	25%

¹³⁶ Angebot Aerzen Austria Handelsgesellschaft; Angebots Nr.: 21300201A; Kennwort: Optimierung Zementförderung; Herr Ewald Mayrl; Seite 1-2; 21.01.2014

¹³⁷ Hans Paul Becker; S. 43; Investition und Finanzierung,; Verlag Springer Gabler 2013

daraus folgt:

$$i = 0,098 * \left(\frac{114800}{172200} \right) + 0,075 * (1 - 0,25) * \left(\frac{87400}{172200} \right) = 8,4\%$$

$$\text{kalkulatorische Zinsen} = i * \frac{\text{Anschaffungskosten} + \text{Liquidationserlös}}{2}$$

$$\text{kalkulatorische Zinsen} = 0,084 * \frac{172200 + 30000}{2} = \text{€}8492,4$$

6.4.4 Perioden und Gutkosten

Die durchschnittlichen Periodenkosten errechnen sich:

$$K = [(A_0 - L_n) / n] + i * [(A_0 + L_n) / 2] + K^{\text{fix}} + K^{\text{var}}$$

K= durchschnittliche Periodenkosten

A₀= Anschaffungskosten €172.200.-

L_n= Liquidationserlös €30.000.-

n= Nutzungsdauer 20 Jahre

K^{fix}= sonstige Fixkosten €26.700.- (Instandhaltungskosten, Wartungskosten pro Jahr)

K^{var}= variable Kosten €67.680.-

(Energiekosten von 1Stk. Kolbenverdichter und einer Zellenradschleuse. Die Verdichter arbeiten alternierend, daher wird bei den Energiekosten mit einem Verdichter im Dauerbetrieb gerechnet.

Energiekosten neuer Schraubenverdichter: €62.400.- pro Jahr pro Schraubenverdichter.

Energiekosten Zellenradschleuse: € 5.280.-

Variable Kosten= 5.280 + 62.400 = €67.680.-

Wartungskosten Zellenradschleuse (fixe Kosten) €26.700.- pro Jahr

Die beiden neuen Kolbenverdichter arbeiten auch bei der ZM 5 im Wechselbetrieb, um wie in **Abbildung 26** gekennzeichnete Leerlaufkosten, zu senken.

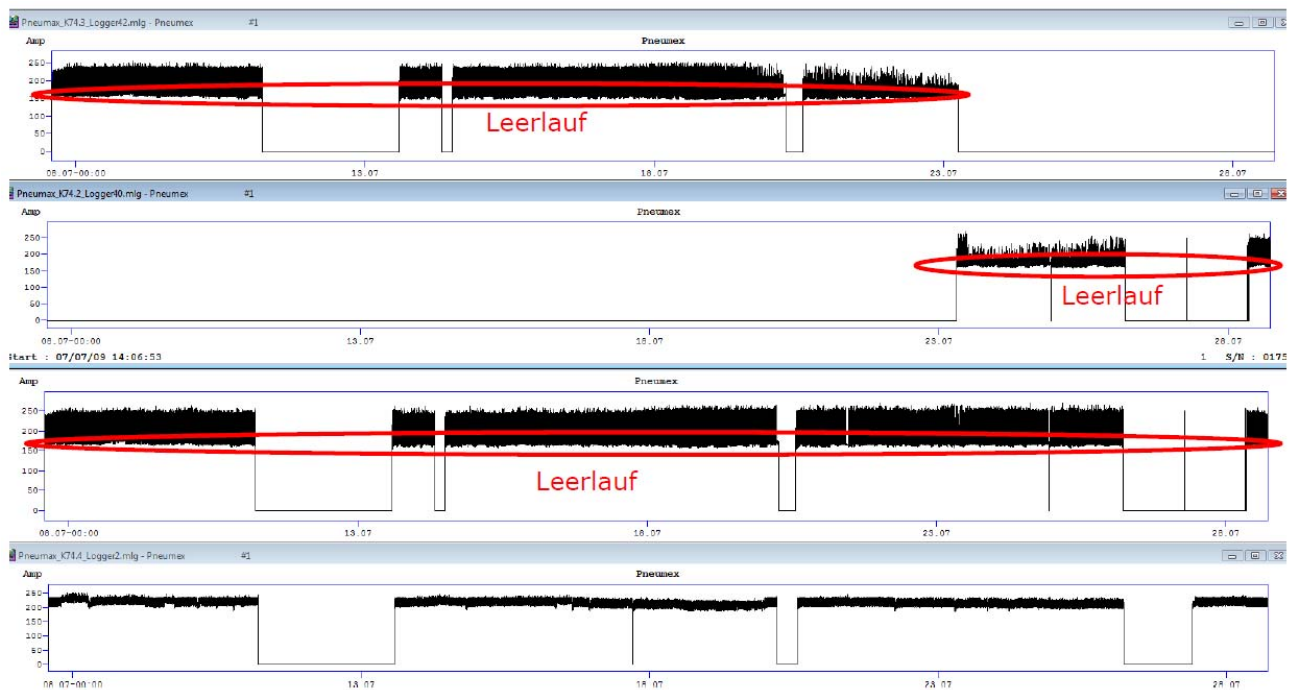


Abbildung 26: Strommessung der Fa. Allplan ZM5¹³⁸

Die Tabelle unten zeigt, dass der Leerlaufstrom der Druckluftkompressoren einen Anteil von 34% aufweist. Zudem sind in den letzten beiden Zeilen die Energiekosten von 1007 und 2009 gelistet. Die große Differenz bedeutet, dass in diesen beiden Jahren unterschiedlich viel Menge an Zement produziert worden ist.

Leube		K602	K603	K74.1	K74.2	K74.3	K74.4
		CSDX162T SFC	CSDX 162T	ER6	ER6	ER6	ER6
		Werksluft		Zementförderung ZM5			ZF ZM4
Lastzustand	[%]	0	100	40	2	22	80
Leerlauf	[%]	0	0	35	14	39	2
Stillstand	[%]	5	0	23	85	39	18
Nutzungsgrad	[%]	100	100	53	11	36	98
Stromaufnahme im Lastzustand	[A]	81	151	239	235	228	220
Stromaufnahme im Leerlauf	[A]	-	60	175	172	162	200
Leistung im Lastzustand	[kW]	48	94	149	146	142	137
Leistung im Leerlauf	[kW]	-	33	97	95	90	111
Verbrauch Last	[kWh/a]	418.214	822.354	516.280	20.839	271.531	956.405
Verbrauch Leerlauf	[kWh/a]	-	167	298.922	114.416	305.595	17.803
Verbrauch Summe	[kWh/a]	418.214	822.521	815.202	135.254	577.127	974.208
Verbrauch Summe	[kWh/a]	1.240.736		1.527.583			974.208
Energiekosten Leerlauf 2007	[EUR/a]	0	11	19.131	7.323	19.558	1139
Energiekosten Leerlauf Summe 2007	[EUR/a]	11		46.012			1.139
Energiekosten Leerlauf Summe 2009	[EUR/a]	17		71.893			1.780
Energiekosten Last 2007	[EUR/a]	79.407	52.631	33.042	1.334	17.378	61.210
Energiekosten Last Summe 2007	[EUR/a]	132.038		51.754			61.210
Energiekosten Summe 2007	[EUR/a]	79.407	52.641	52.173	8.656	36.936	62.349
Energiekosten Summe 2007	[EUR/a]	132.048		97.765			62.349
Energiekosten Summe 2009	[EUR/a]	206.326		152.758			97.421

Tabelle Error! No text of specified style in document.-3: Laufverhalten und Energiekosten¹³⁹

¹³⁸ Endbericht Fa. Allplan GmbH AEEP; Schwindgasse 10, 1040 Wien; Bericht von Juni bis September 2009, Verfasser nicht bekannt. PDF- Datei „091103_Allplan_Endbericht_Leube_Energieeffizienz“;

Die Spalten K74.1, K74.2; K74.3 und K74.4 geben den Stromverbrauch und Energiekosten der vier Stück Kompressoren an.

$$K = \left(\frac{172200 - 30000}{20} \right) + 0,084 * \left(\frac{172200 + 30000}{2} \right) + 26700 + 67680 = \text{€}109964.-$$

Die durchschnittlichen Periodenkosten betragen bei diesem Investitionsobjekt €109.964.-

Periodenkosten der Bestandsanlage können nach diesem Verfahren nicht verglichen werden. Die Anlage wurde immer wieder erweitert und angepasst. Daher vergleicht man die Energiekosten pro Periode (k).

$$k = \left(\frac{K}{x} \right)$$

k= Stückkosten (€/ to Zement)

K= Periodenkosten

x= Menge (to/ Jahr)

Energiekosten Kolbenverdichter: €146.880.- pro Jahr
Bestandsanlage:

Periodenkosten: K= € 146.880.-

$$k = \left(\frac{146880}{500000} \right) = 0,29 \text{ €/to}$$

Dies ergibt 0,29 * 500.000=145.000€/Jahr

Neuanlage:

Periodenkosten K= €109.964.-

$$k = \frac{109964}{500000} = 0,22 \text{ €/to}$$

Dies ergibt 0,22 * 500.000=110.000€/Jahr

Durch die Investition in die Neuanlage verringern sich die Kosten pro Tonne Zement von €0,29.- auf €0,22.-. Dies bedeutet eine jährliche Ersparnis von €35.000.-. Hervorzuheben ist auch, dass die Bestandsanlage aus 1970 ist, daher Wartung und vor allem Ersatzteile

¹³⁹ S.24 Endbericht Fa. Allplan GmbH AEPP; Schwindgasse 10, 1040 Wien; Bericht von Juni bis September 2009, Verfasser nicht bekannt. PDF- Datei „091103_Allplan_Endbericht_Leube_Energieeffizienz“;

sehr teuer sind. Dies sind Faktoren, die im Vorhinein nur schwer kalkulierbar sind und nur bedingt in die Berechnung mit einfließen.

Doch auch ohne die Berücksichtigung der Wartungs- und Ersatzteilkosten der Bestandsanlage, sind die Betriebskosten um €35.000.- pro Jahr geringer.

6.4.5 Auswahl von Investitionen anhand der Energiekosten der ZM5

Die folgende Tabelle zeigt die Auswahl des Investitionsobjektes anhand der Stückkosten. Diese zeigt nochmals, die in **Punkt 3.4.4**, errechneten Ergebnisse.

Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten

Kosten	Investition Alt	Investition Neu
Anschaffungskosten	-	172.200
Nutzungsdauer in Jahren	30-40	20
Auslastung pro Jahr	500.000	500.000
Kalkulatorische Abschreibung	-	7110
Kalkulatorische Zinsen, i=8,4%	-	8.492,40
Sonstige Fixkosten	- (sind nicht bekannt)	26.700 (Wartung)
Summe Fixkosten	-	42.302,4
Energiekosten	146.880	67.680
Sonstige variable Kosten	-	-
Summe variabler Kosten	146.880	67.680
Gesamtkosten pro Jahr	146.880	109.982,4
Gesamtkosten pro Tonne Zement	0,25	0,22

Tabelle Error! No text of specified style in document.-4: Auswahlverfahren im Vergleich der Stückkosten

Bei dieser Auswahl wurden in der Spalte „*Investition A*“ nur die Energiekosten berücksichtigt, da die Kosten für Wartung und Instandhaltung nicht bekannt sind. Über die genauen Kosten gibt es keine Aufzeichnungen.

In der Spalte „*Investition Neu*“ sind die kalkulatorische Abschreibung, die kalkulatorischen Zinsen und die Kosten für Wartung als Fixkosten angegeben. Diese beträgt in Summe €42.302,4.-. Zu den variablen Kosten wurden die Energiekosten einkalkuliert und belaufen sich auf € 67.680.-. Dies ergibt eine Gesamtsumme von €109.982,4.- und auf die Betriebsstunden gerechnet €0,22.- pro Tonne Zement. Im Vergleich zur Spalte mit der alten Investition, in der nur die Energiekosten gerechnet wurden, ein Preis von €0,23.- pro Tonne Zement. Dies bedeutet eine Einsparung von €0,03.- pro Tonne Zement und Gesamt, auf 500.000t Zement im Jahr gerechnet, von €15.000.-

6.4.6 Amortisationsrechnung ZM5

Die Amortisationsdauer der Anlage für ZM5:

$$AD = \frac{A_0 - L_n}{\text{Gewinn} + \text{Abschreibung}}$$

$A_0 =$	ursprüngliches Kapital, Anschaffungskosten:	$A_0 = 172.200.-$
$L_n =$	Liquidationserlös	$L_n = 7.110.-$

$$AD = \frac{172200 - 30000}{35000 + 7110} = 3,37 \text{ Jahre}$$

Die Neuanlage für die Zementförderung von Zementmühle 5, amortisiert sich nach 3,4 Jahren. Aufgrund der Höhe der Investitionssumme und der niedrig angesetzten Nutzungsdauer, ein für die Firma akzeptables Ergebnis.

Das Ergebnis kann nun auch wie bei **Punkt 3.3.5** tabellarisch dargestellt werden. Die Tabelle 6-5 zeigt die Kumulative Abschreibung der Zementförderanlage ZM5. Wird bei der Investition kumulativ vorgegangen, amortisiert sich die Anlage zwischen dem fünften und sechsten Jahr. In diesem Jahr fließen die Gesamtausgaben wieder in das Unternehmen zurück. Je nach Zinssatz, anstehen Reparaturen kann dies aber auch früher passieren.

Jahr	Gewinn	Abschreibung	Rückfluss	Rückfluss kumulativ
1	35.000	7.110	42.110	42.110
2	35.000	7.110	42.110	42.110
3	35.000	7.110	42.110	42.110
4	35.000	7.110	42.110	42.110
5	35.000	7.110	42.110	42.110
				210.550

Tabelle Error! No text of specified style in document.-5: Kumulative Abschreibung der Zementförderung ZM5

7 Ergebnisse und Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die erhaltenen Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und analysiert. Ist der geplante Umbau der vorhandenen Zementförderanlage von ZM4 und ZM5 sinnvoll?

7.1 Ergebnisse

Die Firma Zementwerk Leube GmbH betreibt seit 1970 zwei pneumatische Zementförderanlagen.

Von der Zementmühle 4 wird das fertige Material über Förderschnecken in den Vorbunker der pneumatischen Förderung transportiert. Danach wird der Zement über eine Schneckenpumpe zu den jeweiligen Silos befördert. Je nach Qualität des Zementmehls, werden unterschiedliche Silos befüllt.

Die gesamte Anlage wurde über Jahre adaptiert. Silos wurden dazu gebaut und weitere Förderstrecken entstanden. Nun ist aber die Grenze der Auslastung erreicht und aufgrund des immer stärker steigenden Strom- bzw. Energiepreises, hat sich das Unternehmen der Aufgabe gestellt, die Bestandsanlage gegen eine neue und modernere Anlage zu tauschen. Diese soll kostengünstig in der Anschaffung, effizient und wirtschaftlich im Betrieb sein.

Die Überlegung war, bestehende Kompressoren gegen Schraubenverdichter mit geringer Antriebsleistung und eine Zellenradschleuse, als Zementaufgabe, für die pneumatische Förderung einzubauen.

Im Vorfeld wurden diverse Firmen damit beauftragt, die Bestandsanlage auf ein System zur Förderung mit einer Zellenradschleuse auszulegen. Es gab Druckmessungen in den Druckleitungen, um den vorhandenen Förderdruck bestimmen zu können. Aufgrund der Messung und der Erfahrung hinsichtlich solcher Systeme, konnte der Anlagenbauer bereits im Vorfeld planen und es wurden Angebote erstellt.

Die mit Hilfe der Theoriebücher errechneten Werte, brachten kein zufriedenstellendes Ergebnis, womit mit den vorhandenen Daten der Anlagenbauer weiter kalkuliert werden musste.

Das Ergebnis stellt nun folgendes dar. Die neue pneumatische Förderanlage der ZM4 zu den Silos, bringt eine Ersparnis der Betriebskosten von €94.300.- im Jahr.

Die bestehenden Rohrleitungen müssen weder umgebaut, noch auf einen größeren Durchmesser erweitert werden. Die alten Kompressoren werden durch neue Schraubenverdichter ersetzt und anstelle der Schneckenpumpe, wird eine Zellenradschleuse eingebaut.

Dies bringt den Vorteil der kontinuierlichen Förderung von Zement und eine Verringerung der Leerlaufzeiten.

Der wohl, für die Firma größte Vorteil, ergibt sich daraus, dass anhand der Ersparnis der Betriebskosten, sich die moderne Anlage binnen zwei Jahren amortisiert.

Anbei nochmal eine Aufstellung:

Laufzeit der ZM 4: 20Std. pro Tag
300 Tage pro Jahr

Leistung des Motors bei Normalbetrieb: 50kW
Energiekosten Strom: 0,16Eur pro kWh
Energiekosten Schneckenpumpe: €48.000 pro Jahr
Energiekosten Kolbenverdichter: €144.000 pro Jahr¹⁴⁰
Kosten für Wartung und Instandhaltung pro Jahr der Schneckenpumpe: € 20.000.-

Betriebskosten Schneckenpumpe und Verdichter gesamt pro Jahr: €192.000.-

Vergleich zur Neuanlage:

Leistung Motor Zellenradschleuse: 3kW
Energiekosten Zellenradschleuse: €2.880 pro Jahr
Energiekosten neuer Schraubenverdichter: €86.400.- pro Jahr pro Schraubenverdichter.

Gesamtbetriebskosten Förderpumpe, Kompressor und Wartung: €212.000.-

Gesamtbetriebskosten Zellenradschleuse und Verdichter: €117.674,4.-

Ersparnis pro Jahr: €94.300.-

Ein weiteres Ziel war es, die Wirtschaftlichkeit einer pneumatischen Förderanlage zu überprüfen, die gegen die Bestandsanlage bei ZM5 getauscht werden soll. Das Prinzip ist das gleiche wie bei ZM4. Kompressoren und das Druckfördergefäß „Pneumex“, sollen gegen Schraubenverdichter und einer Zellenradschleuse getauscht werden.

Dies führte zu folgendem Ergebnis:

Betriebskosten Bestandsanlage: €124.800

Betriebskosten Neuanlage der Zellenradschleuse: €109.964.-

Die Betriebskosten der Bestandsanlage belaufen sich auf: €146.880.-

¹⁴⁰ Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013

Die Betriebskosten der Neuanlage betragen: €109.982.-

Die Die Ersparnis beträgt €35.000.- pro Jahr.

Die Anlage amortisiert sich in vier Jahren, kumulativ betrachtet, nach dem fünften Jahr.

Auch, wenn wie in diesem Fall, die Zinsen für die Berechnung der kalkulatorischen Zinsen und der Risikozinssatz nur angenommene bzw. Erfahrungswerte sind.

Hinsichtlich der Kalkulationsmethode, ist das statische Verfahren sehr einfach anzuwenden. Es können schnell brauchbare Ergebnisse erzielt werden. Jedoch würde eine weitere Berechnung anhand des dynamischen Verfahrens genauere Ergebnisse erlangt werden.

Aufgrund des hohen Einsparungspotentials und der raschen Amortisationsdauer, wurde ein zufriedenstellendes Ergebnis erarbeitet. Aus meiner Sicht, zwei sinnvolle Objekte, in die investiert werden soll.

Literatur

- 1 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/>; 20.05.2015
- 2 Reisebericht- Überarbeitung Thyssenkrupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 2; 12.11.
- 3 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/rohmaterialgewinnung/> ; 20.05.2015
- 4 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/rohmaterialaufbereitung/> ; 20.05.2015
- 5 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/brennvorgang/> ; 20.05.2015
- 6 Ausschnitt aus Fließschema der Fa. Leube Zementwerk G.m.b.H; Zeichnungsnr.: 25245; Titel der Zeichnung: 145.2_Fertiguttransport-Pneumex: ergänzt am, 01.10.2004
- 7 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/ersatzbrennstoffe/> ; 20.05.2015
- 8 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/mahlung/> ; 20.05.2015
- 9 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/qualitaetskontrolle/> ; 20.05.2015
- 10 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/lagerung/> ; 20.05.2015
- 11 <http://www.leube.at/qualitaet/zementproduktion/verpackung/> ;
- 12 Reisebericht- Überarbeitung Thyssen Krupp Resource Technologies; Anfrage Nr.: 26652120; Kennwort: T 003594; Herr G. Guse; Seite 6; 12.11.2013
- 13 Wolfgang Siegel, Pneumatische Förderung; Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik; 1. Auflage 1991
- 14 Angebot Aerzen Austria Handelsgesellschaft; Angebots Nr.: 21300201A; Kennwort: Optimierung Zementförderung; Herr Ewald

Mayrl; Seite 1-2; 21.01.2014bayer/Ausarbeitung2.pdf

- 15 Hans Paul Becker; Investition und Finanzierung, Verlag Springer Gabler; 6. Auflage, 2013
- 16 G. Seicht, Investition und Finanzierung, 8. Auflage, Wien 1995
- 17 E. Schneider; S. 68; Wirtschaftlichkeitsrechnung ; Theorie der Investition, 8. Auflage,
- 18 Hans Blohm/ Klaus Lüder; S. 168; Investition: Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung ; Verlag Vahlens Handbücher; 10. Auflage, 1973

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hallein, den 10. Juli 2015

Ing. Stefan Dorfer